



**JOÃO RÚBEN DE SÁ
VIVEIROS**

**APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA DMAIC PARA
AVALIAÇÃO E MELHORIA DE SISTEMA DE
MEDIÇÃO**



**JOÃO RÚBEN DE SÁ
VIVEIROS**

**APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA DMAIC PARA
AVALIAÇÃO E MELHORIA DE SISTEMA DE
MEDIÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica da Dra. Carina Maria Oliveira Pimentel, Professora Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro

Dedico este trabalho à minha família, amigos, orientadora e colegas da Vulcano - Bosch Termotecnologia, S.A.

o júri

Presidente

Professora Doutora Maria João Machado Pires da Rosa
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

Doutor Paulo Alexandre da Costa Araújo Sampaio
Professor Associado, Escola de Engenharia - Universidade do Minho

Professora Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel
Professora Auxiliar, Universidade de Aveiro

agradecimentos

Aos meus pais, João e Fátima, às minhas irmãs, Liliana, Lúcia e Joana, e aos meus cunhados, Jhonny e Jorge, pelo apoio incondicional que me deram ao longo da vida e principalmente nesta etapa tão importante. Sem vocês não seria a pessoa que sou hoje e, por isso, um muito obrigado.

A orientadora, Professora Doutora Carina Maria Oliveira Pimentel, por todo o trabalho que desenvolveu comigo neste último ano de curso e pelo apoio e orientação durante o estágio curricular e elaboração deste projeto.

Ao meu orientador na Vulcano - Bosch Termotecnologia, S.A, Engenheiro Rui Rodrigues, pela formação e apoio que me deu ao longo do projeto.

Aos colegas e amigos da BTT, por todo o suporte e disponibilidade que mostraram em todas as fases desta investigação.

A família Oliveira, que foram a minha família de acolhimento em Portugal Continental e que me incluíram de forma integral na sua vida. Agradecido por todo o amor e carinho que me transmitiram.

Aos meus amigos, Marcelo, Carlos, Catherine, Marta, Lina, Nicolau, Sílvia, Joana, Dinarte, Luísa, Velibor, Gallagher e Patrícia que me acompanharam ao longo da minha vida e tiveram um papel crucial no meu sucesso.

A todas as pessoas que contribuíram em algum momento desta jornada.

palavras-chave

análise de sistemas de medição, simulação, garantia da qualidade, dmaic, melhoria contínua.

resumo

O presente documento é o resultado da aplicação de um projeto na empresa Bosch Termotecnologia, no âmbito da melhoria do seu sistema de medição para garantia da qualidade. Com este trabalho avaliou-se o sistema de medição, com os objetivos de reduzir o tempo associado à operação de inspeção; diminuir as deslocamentos dos colaboradores para efetuar inspeção; aumentar a autonomia dos operadores em relação aos métodos e meios de inspeção; o desenvolvimento de novos equipamentos de medição em caso de inexistência ou desadequação. Para alcançá-los o autor sugere a aplicação da metodologia DMAIC. Os resultados da análise ao sistema de medição permitiu identificar desvios aos *standards* já estabelecidos e várias oportunidades de melhoria. A metodologia aplicada permitiu reduzir o valor de %GRR em 37,5% e aumentar a eficácia da inspeção para 95,1% contribuindo assim para a melhoria do sistema de medição das seções objeto de estudo.

keywords

measure systems analyses, simulation, quality assurance, dmaic, continuous improvement.

abstract

This document is the result of the application of a project developed in Bosch Thermotechnology, in the scope of the improvement of its measurement system for quality assurance. The aim of this work is to evaluate the measurement system, with the goals of reducing the time associated with the inspection operation; decrease of the employees movements to carry out the inspection; increasing operators autonomy in relation to inspection methods and means; and development of new measuring equipment in the event of non-existence or inadequacy. To reach them, the author suggests the application of the DMAIC methodology. The results of the analysis performed to the measurement system allowed to identify deviations from the established standards and several opportunities for improvement. Through this methodology it was possible to reduce the value of % GRR by 37.5% and increase the efficiency of the inspection to 95.1%, thus contributing to the improvement of the measurement system of the sections under study.

Índice

1. Introdução.....	7
1.1 Enquadramento do Projeto.....	7
1.2 Âmbito e Objetivos	8
1.3 Metodologia	10
1.4 Organização/Estrutura do documento	10
2. Enquadramento Teórico.....	11
2.1 Terminologia.....	11
2.2 Definição de Qualidade.....	13
2.3 Evolução Histórica da Qualidade.....	14
2.3.1 Inspeção	14
2.4 Controlo Estatístico da Qualidade.....	15
2.5 Garantia da Qualidade.....	16
2.6 Gestão pela Qualidade Total	17
2.7 Custos da qualidade	18
2.8 6 Sigma	20
2.8.1 História, Definição e Alicerces.....	20
2.8.2 Seis Sigma como ferramenta da Qualidade	22
2.8.3 DMAIC.....	23
Ferramentas da Metodologia DMAIC	25
2.8.4 Análise de Sistemas de Medição - O Processo de Medição.....	25
2.8.4.1 Sistema de Medição	25
2.8.4.2 Variação do Processo de Medição	26
2.8.4.3 Propriedades Estatísticas e Variação do SM.....	30
2.8.4.4 Aplicações da Análise ao Sistema de Medição.....	33
2.8.4.5 SM replicáveis - MSA por variável e atributo	33
2.8.4.6 Critérios de Aprovação do SM	48
2.8.5 SIPOC.....	49
2.8.6 Diagrama de Pareto	49
2.8.7 Simulação	50
2.8.8 MTM – Methods - Time Measurement	51
3. Aplicação do Caso de Estudo	53
3.1 Apresentação da Empresa	53
3.1.1 BTT – Aveiro - O Sistema de Medição na BTT	54
3.2 Aplicação da Metodologia DMAIC	56

3.2.1	Etapa 1 – Definir.....	56
3.2.2	Etapa 2 – Medir	62
3.2.2.1	Recolha de Dados	62
3.2.2.2	Avaliação dos SM.....	64
3.2.2.3	Focos prioritários do problema	77
3.2.3	Etapa 3 – Analisar.....	82
3.2.3.1	Identificação das causas potencias	82
3.2.4	Etapa 4 – Melhorar	85
3.2.5	Etapa 5 – Controlar.....	96
4.	Considerações finais e perspectivas de trabalho futuro.....	101
5.	Referências Bibliográficas	103
6.	Anexos	107

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da gestão da qualidade adaptado de Bergman & Klefsjö (2003)	14
Figura 2 - Formato geral de uma carta de controlo, (Montgomery, 2009).....	15
Figura 3 - Trilogia de Juran (Juran & Gryna, 1991).....	17
Figura 4 -Elementos do TQM, adaptado de (Hellsten and Klefsjö, 2000)	18
Figura 5 - Modelo do custo da qualidade proposto por Juran , adaptado de Juran & Godfrey (1998)	18
Figura 6 - Conceito de Seis-Sigma, pela Motorola (Montgomery, 1996)	20
Figura 7 - Taxa de Defeitos por nível Sigma de um processo (adaptado de Linderman, 2003).....	21
Figura 8 - Processo de medição (Down et al., 2010)).....	25
Figura 9 - Sistema de medição e seus componentes (adaptado de Rainho (2016))	25
Figura 10 - Variação do processo de medição, Down et al., (2010).....	26
Figura 11 – Representação do conceito de tendência, Down et al., (2010)	26
Figura 12 - Representação do conceito de estabilidade, Down et al., (2010).....	27
Figura 13 - Representação do conceito de linearidade, Down et al., (2010)	27
Figura 14 - Representação do conceito de reprodutibilidade, Down et al., (2010).....	28
Figura 15- Potencias causas de variação de um SM (Down et al., 2010)	30
Figura 16 - Distribuição da variação total	31
Figura 17 - Resultados possíveis de classificação de uma peça	32
Figura 18 - Exemplar gráfico de um estufo de linearidade, retirado de Portal Action (2017)	35
Figura 19 - Identificação das zonas cinza, adaptado de (Down et al., 2010).....	46
Figura 20 - Gráfico auxiliar para compressão do cálculo do DLSE e do DLIE , adaptado de (Down et al., 2010).....	47
Figura 21 - Exemplo de um diagrama SIPOC, Montgomery (1996).....	49
Figura 22 - Exemplo de um diagrama de pareto, Montgomery (1996)	49
Figura 23- Passos para o desenvolvimento de um estudo de simulação (Banks et al.. 2004)	51
Figura 24 - Estrutura dos diferentes métodos analíticos para medição de trabalho (adaptado de Seifermann et al., 2014).....	52
Figura 25 - Edifício principal BTT, Aveiro	53
Figura 26 - Exemplo de um PC, Bosch (2009).....	55
Figura 27 - Planeamento preliminar do projeto	57
Figura 28 - Exemplo de uma câmara de combustão e tubos de cobre	57
Figura 29 - SIPOC – Processo de fabrico de câmaras de combustão	58
Figura 30 - Exemplos de abocardados.....	58
Figura 31 - SIPOC – Processo de fabrico de Tubos de cobre.....	59
Figura 32 - Análise ABC	60
Figura 33 - Análise ABC – Ref.1	60
Figura 34 - Análise ABC – Ref.2	61
Figura 35 - Folha de recolha de dados para MSA por atributo.....	62
Figura 36 – Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1	64
Figura 37 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -Tubo A - Característica 1	65
Figura 38 - Relatório de má classificação -Tubo A - Característica 1	65
Figura 39 - Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1.1.....	66
Figura 40 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -Tubo A - Característica 1.1	66
Figura 41 - Relatório de má classificação -Tubo A - Característica 1.1	67
Figura 42 - Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1.2.....	67
Figura 43 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -Tubo A - Característica 1.2	68
Figura 44 - Relatório de má classificação -Tubo A - Característica 1.2.....	68
Figura 45 - Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1.3.....	69
Figura 46 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -Tubo A - Característica 1.3	69
Figura 47 - Relatório de má classificação - Tubo A - Característica 1.3	70
Figura 48 - Folha de recolha de dados - Tubo B - Característica 2	71
Figura 49 - Tabela Resumo dos resultados - Tubo B - Característica 2	72
Figura 50 - Folha de recolha de dados – Referência 1 - Característica 3	73
Figura 51 - Tabela Resumo resultados - Referência 1 - Característica 3.....	74
Figura 52 - Folha de recolha de dados - Referência 2 - Característica 4	75
Figura 53 -Tabela Resumo resultados - Referência 2 - Característica 4.....	76

Figura 54 - Gráficos X-barra e R.....	78
Figura 55 - Interação Avaliador - Peça.....	79
Figura 56 - Medições por operador	79
Figura 57 - Clusters ANOVA.....	80
Figura 58 - ANOVA - GRR	80
Figura 59 - Contribuição para a variação total de cada componente	81
Figura 60 - Avaliador com melhor desempenho - Identificação do método usado	82
Figura 61 - Diagrama Causa -Efeito.....	83
Figura 62 - Diferentes tipos de conceitos de IM para a mesma família de produtos	85
Figura 63- Análise Janeiro - Março.....	86
Figura 64 - Aplicação de <i>standard</i> por meio de Gestão Visual	87
Figura 65 - Exemplo de IVC	87
Figura 66 - Exemplo de IVC	88
Figura 67 - Alteração posto de controlo F5	88
Figura 68 - Alteração posto de controlo F3	89
Figura 69 - Situação Inicial Postos de Controlo S843	90
Figura 70 - Postos de Controlo existentes na situação inicial.....	91
Figura 71 - Situação futura (implementada).....	91
Figura 72 - Projeto Novos postos de controlo	92
Figura 73 - Versão final de um posto de controlo já implementada na seção	93
Figura 74 - IM tipo OK/NOK.....	94
Figura 75 - Suporte desenvolvido já implementado na seção.....	95
Figura 76 - Folha de recolha de dados - Referência 2 - Característica 4, após melhoria	96
Figura 77 - Tabela Resumo resultados - Referência 2 - Característica 4, após melhoria	97
Figura 78 - Resumo Análise de concordância - Característica 3 - Referência 1.....	98

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Definição de Qualidade segundo vários autores.....	13
Tabela 2 - Custos da Qualidade, (adaptado de Juran & Godfrey (1998).).....	19
Tabela 3 - Evolução do Seis-Sigma (adaptado de Montgomery & Woodall (2008)).....	22
Tabela 4 - Etapas do DMAIC (adaptado de (Werkema, 2013))	23
Tabela 6 – Tabela para resumo dos dados modelo – operador A*B, adaptado de (Down et al., 2010).....	43
Tabela 7 - Tabela auxiliar para o cálculo das proporções observadas, adaptado de (Down et al., 2010).....	43
Tabela 8 – Tabela e fórmulas para cálculo das proporções esperadas	44
Tabela 9 - Critério de aceitação para um SM, adaptado de (Down et al., 2010)	45
Tabela 10 - Sinais e significados do resultado da avaliação de cada peça, adaptado de (Down et al., 2010)..	46
Tabela 11 - Decisões padrão dos avaliadores num SM por atributo.....	47
Tabela 5 - Critérios de aprovação do SM, adaptado de (Down et al., 2010)	48
Tabela 12 - Project charter	56
Tabela 13 - Contribuição total dos defeitos – Tubos de Cobre.....	60
Tabela 14 - Contribuição total dos defeitos	61
Tabela 15 - Contribuição total dos defeitos	61
Tabela 16 - Plano de Recolha de Dados	63
Tabela 17- Resumo da aplicação da análise de concordância	70
Tabela 18 - Problemas prioritários	77
Tabela 19 - Metas a alcançar	81
Tabela 20 - Análise 5 Porquês? - Referência 1	84
Tabela 21 - Resumo do Ensaio	86
Tabela 22 - Tempo e distância - situação inicial	90
Tabela 23 - Deslocamento atual que um operador realiza para inspecionar	92
Tabela 24 - Aprovação do Posto de Controlo.....	93
Tabela 25 - Comparação dos resultados do MSA, entre a situação inicial e final	97
Tabela 26 - Resumo análise de concordância do novo IM	98
Tabela 27 - Alcance das metas	99

Lista de Siglas e Acrónimos

AIAG – Automotive Industry Action Group
AV – Variação do Avaliador
BTT – Bosch Termotecnologia
BPS – *Bosch Production System*
CAD – Desenho Assistido por Computador
CC – Câmara de Combustão
DPMO – Defeitos por Milhão de Oportunidades
DPO – Defeitos por Oportunidade
EV – Variação do Equipamento
FMEA – Análise de Modo e Efeito de Falha
GDQ - Garantia da Qualidade
GRR – *Gauge Repeatability and Reproducibility*
GPC – *Gage Performance Curve*
IM – Instrumento de Medição
IVC – Instrução Visual de Controlo
IO – Instrução Operacional
LSE – Limite Superior de Especificação
LIE – Limite Inferior de Especificação
MTM – *Time Measurement Unit*
MSA – Análise de Sistemas de Medição
MTM – *Methods Time Measurement*
PM – Processo de Medição
P/NP – Passa ou Não Passa
PC – Plano de Controlo
QFD – Desdobramento da Função Qualidade
RPC – Registo de Plano de Controlo
SM – Sistema de Medição
SME – *Subject-Matter Experts*
SPC – Controlo Estatístico da Qualidade
TQM – Gestão pela Qualidade Total
TV – *Variação Total*

1. Introdução

1.1 Enquadramento do Projeto

O presente documento descreve o projeto desenvolvido no âmbito do estágio curricular do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial, da Universidade de Aveiro. Este faz parte do plano curricular do último ano de mestrado e visa o desenvolvimento de um caso prático. Para o elaborar recorreu-se à aplicação de ferramentas, para a resolução de um problema específico. O trabalho foi levado a cabo na empresa Vulcano - Bosch Termotecnologia, S.A (BTT), localizada em Cacia. Este debruçou-se sobre a área da Garantia da Qualidade.

Juran (1988) define qualidade de duas formas: A primeira refere que “Qualidade significa que as características dos produtos vão de encontro com as necessidades dos clientes, levando à sua satisfação”, e a segunda define Qualidade como “a ausência de defeitos”. A conjugação destas duas definições leva a um aumento do lucro, à posição face à concorrência, ao mesmo tempo que diminui as taxas de erro, o desperdício, o retrabalho, e as atividades de inspeção e teste.

Falhas repetitivas custam às organizações milhões de euros, em custos operacionais, de redesenho de produtos e confiança das partes interessadas. É imperativo no sucesso de uma organização procurar ciclicamente formas de prever a ocorrência de defeitos ao mesmo tempo que melhora continuamente os processos produtivos. Para que as organizações sejam competitivas por muito tempo, têm que ser capazes nas fases de conceção e desenho de novos produtos ou processos, determinar o que pode potencialmente correr mal e as causas associadas. O exercício de determinar todos estes modos de falha é uma tarefa difícil, se não se possuir um vasto conhecimento de como funciona o produto e/ou o processo até ao mínimo detalhe. Só após a identificar e implementar ações próprias para prevenir essas falhas potenciais, ou para as detetar com o tempo, é que podemos assegurar o aumento da segurança e fiabilidade dos produtos e/ou processos. A recolha de dados é cada vez mais utilizada na definição e implementação de ações e, a forma como estes são recolhidos define a sua qualidade e resultados obtidos da sua aplicação. (Bosch, 2016).

O ajuste de um processo produtivo é frequentemente baseado em dados, de modo a serem tomadas decisões eficazes é importante partir de dados com qualidade. Para tal estes devem ter baixa variação e boa estabilidade. Dados de baixa qualidade levam a conclusões de baixa qualidade e vice-versa, os benefícios do uso de métodos sustentados na recolha de dados estão diretamente relacionados com a qualidade dos mesmos. (Down, Czubak, Gruska, Stahley, & Benham, 2010). Uma das formas mais usadas na indústria para recolher dados é a medição. Deming (ano), diz que “se não conseguimos medir uma coisa, não a conseguimos gerir”. Uma medição não é uma operação isolada, não se trata apenas do método ou do equipamento de medição, existem outros fatores que contribuem para o resultado de uma medição e que fazem parte de um sistema de medição (SM). Os componentes do SM são: as causas de variação, o procedimento, o homem, a peça a ser medida, o padrão, o ambiente e o instrumento. O ideal é ter baixa variação no sistema de medição, possibilitando uma análise correta do produto e/ou processo de produtivo. Wheeler (2006) defende que existem quatro razões para medirmos:

1. Descrição – descrever o item medido, quer seja por curiosidade, necessidade de estar informado ou simplesmente porque é necessário recolher informação para usar futuramente.
2. Caracterização – Caracterizar o produto em relação à especificação, ou seja, para verificar se um produto está dentro ou fora da especificação.
3. Representação – Representar um produto que não foi medido, através de um conjunto de medições realizadas a outros itens.
4. Previsão – Ao medirmos no presente, podemos caracterizar o output futuro de um processo.

O projeto apresentado neste documento surge deste enquadramento e visa o aumento da robustez do sistema de medição, através da avaliação e aplicação de melhorias. A diminuição do impacto das peças não conformes, o aumento da transparência das operações a realizar, a autonomia e o conhecimento dos colaboradores são objeto de estudo.

1.2 Âmbito e Objetivos

O projeto que deu origem a este documento, insere-se nos 14 princípios da qualidade definidos no pilar da qualidade do *Bosch Production System* (BPS). Estes princípios foram criados para incutir em todas as partes interessadas da organização, a importância da qualidade em tudo o que é realizado e para sustentar os alicerces da organização com estabilidade e confiança. Desta forma, a organização pretende continuar a exceder as expectativas dos clientes e assegurar o futuro da organização. Atendendo ao anteriormente mencionado, os 14 princípios são:

1. Sensibilização;
2. Reação;
3. Instruções
4. Parâmetros de Processo;
5. Calibração;
6. Testes Fiáveis;
7. Máquinas e Equipamentos Fiáveis;
8. Ciclo de vida das ferramentas;
9. Interrupções;
10. Identificação material;
11. Retrabalho;
12. Potenciais danos;
13. Apresentação de material;
14. Manuseamento de material;

Desta forma, o presente projeto incide maioritariamente em três dos 14 princípios, nomeadamente: as instruções, a calibração e os testes fiáveis, sendo estes, a base de todo o desenvolvimento e âmbito do projeto. Serão foco de estudo dois processos produtivos, a produção de câmaras de combustão e tubos de cobre. De seguida vamos proceder a uma breve explicação de cada um destes princípios na perspetiva da BTT:

- **Instruções** - Todas as instruções (instruções de trabalho, método de controlo, 5s,...) têm de ser de fácil interpretação, entendimento e devem estar acessíveis a

todos. Estas devem ser mantidas, revistas, atualizadas, e estar disponíveis e visíveis em cada posto de trabalho.

- **Calibração** - As ferramentas de inspeção e controlo (calibres, paquímetros, graminhos,...) estão definidas, calibradas pela metrologia interna e devidamente identificadas. Os tipos e utilidade destas estão detalhados nos planos de controlo e as respetivas formações asseguradas.
- **Testes Fiáveis** - Todos os testes/processos para detetar erros ou defeitos têm que ser capazes. Estes têm que ser regularmente confirmados conforme o *standard* pré-definido, a confirmação de processo.

A partir do princípio Instruções, surgiu um desdobramento do projeto. Este é denominado de Instruções Visuais de Controlo (IVC) e trouxe uma mudança de paradigma em relação à forma como a operação de inspeção é realizada na BTT. No cenário inicial este processo era realizado com base em um plano de controlo em papel, de onde o operador obtém a informação acerca do meio e do método de inspeção. Após realizar a inspeção, regista o resultado do teste numa folha de registo de plano de controlo (RPC). Estes dados são arquivados e passados três meses destruídos, perdendo-se informações relevantes sobre o processo produtivo provenientes da inspeção. No segundo cenário com as IVC, recorre-se a um dispositivo móvel e um sistema de informação. Esta combinação possibilita o uso de imagens com o objetivo de tornar mais simples e claro para o operador acerca do que tem que fazer e utilizar para inspecionar a peça. Para além disso, toda a informação relativa ao resultado das inspeções ficam guardadas numa base de dados na rede, podendo ser facilmente exportados para uma folha de cálculo ou analisados num programa informático de tratamento de dados. O autor foi líder de projeto e responsável pela implementação deste projeto nas seções onde aplicou-se este estudo.

Os objetivos a atingir neste trabalho foram definidos tendo como base o histórico de dificuldades, e o conhecimento empírico de um especialista da BTT. Sendo estes:

- Avaliar o sistema de medição;
- Reduzir do tempo associado à operação de inspeção;
- Diminuir as deslocações dos colaboradores para efetuar à inspeção;
- Aumentar a autonomia dos operadores em relação aos métodos e meios de inspeção;
- Desenvolvimento de novos equipamentos de medição em caso de inexistência ou desadequação;

1.3 Metodologia

Para desenvolver o presente projeto foi adotada uma metodologia que compreendeu várias etapas. Numa primeira abordagem foi realizada uma revisão da literatura acerca dos assuntos abordados ao longo do documento, de forma a suportar e comparar os resultados que foram obtidos. Seguidamente, numa segunda fase aplicou-se o método DMAIC como ferramenta orientadora para todo o desenvolvimento do trabalho. O DMAIC é o acrónimo em inglês para as cinco etapas que o constituem, D - *Define*, M - *Measure*, A - *Analyze*, I - *Improve* e C - *Control*. O trabalho iniciou-se com a definição dos objetivos do projeto, de seguida determinou-se qual seria o foco, as causas e por fim a proposta, avaliação e implementação de soluções para o problema. E finalizou-se com a definição de ações para garantir que os objetivos alcançados são mantidos a longo prazo. Em cada etapa do DMAIC foram utilizadas várias ferramentas, destacando-se as seguintes:

- SIPOC;
- Diagrama de Pareto;
- Diagrama de esparguete;
- Análise de Sistemas de Medição (MSA);
- Simulação com recurso ao *software Arena*;
- Desenho Assistido por Computador (CAD);
- Estudo de Tempos e Métodos;
- 5S;
- *Workshops*;

A informação usada nesta investigação foi recolhida com a ajuda de *subject-matter experts* (SME's), tais como engenheiros de processo, operadores experientes e observação realizada pelo autor.

1.4 Organização/Estrutura do documento

O documento encontra-se segmentado em quatro capítulos, que poderão encontrar-se por sua vez subdivididos em vários tópicos, com o intuito de levar o leitor a ter uma explicação mais clara do trabalho desenvolvido.

No Capítulo 2 encontra-se o enquadramento teórico, onde são abordados os temas subjacentes ao desenvolvimento deste trabalho. Este capítulo tem como objetivo fornecer ao leitor um conhecimento mais detalhado e que servirá de base para o restante trabalho desenvolvido.

No Capítulo 3 apresenta-se uma breve introdução da organização e do funcionamento da sistemática envolvente na empresa no que diz respeito ao âmbito deste trabalho. Após esta introdução segue-se o desenvolvimento do caso de estudo através da metodologia DMAIC. A aplicação do DMAIC compreenderá as etapas: definição do problema objeto de estudo; recolha e análise de dados; identificação de causas geradoras de desvios e sua avaliação; desenvolvimento de soluções e sua implementação; verificação dos resultados obtidos.

Por último apresenta-se o Capítulo 4, onde são delineadas algumas conclusões finais e perspetivas de trabalho futuro.

2. Enquadramento Teórico

Neste capítulo é efetuado todo o enquadramento teórico necessário para a compreensão dos temas que são abordados no decorrer deste documento. Neste capítulo são expostos o fruto da pesquisa bibliográfica elaborada, em que as principais temáticas são a definição do termo Qualidade e a sua evolução, a melhoria contínua e as ferramentas utilizadas para a garantia da qualidade, como a análise de sistemas de medição.

2.1 Terminologia

A palavra terminologia é definida no dicionário como sendo uma lista organizada dos termos técnicos usados numa ciência ou arte, acompanhada ou não das respetivas definições, Dicionário da Língua Portuguesa (2016). Este capítulo inicia-se com uma listagem de termos usados ao longo deste trabalho para uma interpretação clara do que é exposto. A Norma ISO 9000: Sistemas de gestão da qualidade - Fundamentos e vocabulário foi criada para este propósito, IPQ (2005).

- **Parte interessada:** Pessoa ou organização que pode afetar, ser afetada ou sentir-se afetada por uma decisão ou atividade;
- **Cliente:** pessoa ou organização que poderia receber ou que recebe um produto ou um serviço que lhe é destinado ou solicitado;
- **Melhoria:** atividade para melhorar o desempenho;
- **Melhoria contínua:** atividade recorrente para aumentar o desempenho;
- **Gestão da qualidade:** gestão no que diz respeito à qualidade;
- **Planeamento da qualidade:** Atividade focada no estabelecimento dos objetivos da qualidade e que especifica os recursos e processos operacionais necessários para alcança-los;
- **Garantia da qualidade:** Parte da GDQ focada em fornecer confiança de que os requisitos da qualidade serão atendidos;
- **Controle de qualidade:** Parte da GDQ focada no atendimento dos requisitos da qualidade
- **Melhoria da qualidade:** Parte da GDQ focada no aumento da capacidade de atender aos requisitos da qualidade;
- **Processo:** Conjunto de atividades inter-relacionadas ou que interagem entre si que transformam entradas em saídas;
- **Comprovação metrológica ou calibração:** Operações requeridas para assegurar a conformidade, do equipamento de medição, para o fim a que destina-se;
- **Política:** Intenções e diretrizes globais de uma organização, definidas pela gestão de topo;
- **Requisito:** Necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente, de forma implícita ou obrigatória;
- **Não-conformidade:** Incumprimento de um requisito;
- **Conformidade:** Atendimento de um requisito
- **Defeito:** Não conformidade em relação a uma função pretendida ou especificado;
- **Capabilidade:** Capacidade de um objeto realizar uma partida que atenda aos requisitos;
- **Eficiência:** Relação entre o resultado alcançado e os recursos usados;

- **Eficácia:** Quantidade de atividades planejadas que são realizadas e resultados planejados alcançados;
- **Produto:** Bem material resultante de um processo;
- **Serviço:** Resultado tipicamente intangível, de uma ou mais atividades, realizadas entre a organização e o cliente;
- **Satisfação do cliente:** Percepção do cliente em relação às expectativas atendidas;
- **Reclamação:** Expressão de insatisfação realizada a uma organização, relativamente aos seus produtos ou serviços, para a qual explicitamente ou implicitamente espera-se uma resposta ou resolução;
- **Manual da qualidade:** Especificação para o sistema de gestão da qualidade de uma organização;
- **Plano da qualidade:** Especificação dos procedimentos e recursos associados, aquando da sua aplicação, a um objeto específico. Está também definido quando e quem os executa.
- **Característica da qualidade:** Característica inerente a um objeto, no que diz respeito a um requisito;
- **Inspeção:** Determinação da conformidade dos requisitos especificados. Através de observação e avaliação, munindo-se se necessário, de medições, ensaios ou comparação com padrões;
- **Teste:** determinação de uma ou mais características de acordo com um procedimento;
- **Retrabalho:** Ação sobre um produto ou serviço não conforme, a fim de torná-lo dentro de especificação;
- **Ação preventiva:** Ação para eliminar a causa de uma potencial não conformidade ou outra situação potencialmente indesejável;
- **Ação corretiva:** Ação para eliminar a causa de uma não conformidade identificada;
- **Sistema de Medição** – é o conjunto de elementos usados para quantificar uma determinada característica. Inclui instrumentos de medição, padrões, métodos, *software*, pessoas que procedem à medição, meio ambiente e pressupostos. É o processo completo usado na obtenção das medições.
- **Medição** - Eisenhart (1969) define uma medição como “a atribuição de valores a coisas materiais para representar a relação entre elas no que diz respeito a propriedades particulares”
- **Instrumento de medição** - é qualquer dispositivo usado para efetuar uma medição. Por exemplo, paquímetros, graminhos e calibres Passa/Não Passa.
- **Padrão:** Segundo Down, Gruska, Czubak, Stahley, & Benham. (2010) um padrão pode ser definido como referência para aceitação de peças através de comparação. Representa um valor conhecido dentro dos limites especificados de incerteza.

2.2 Definição de Qualidade

Pirsing (1974 p. 82), alude para a dificuldade que é a atribuição de um significado à palavra qualidade. “Qualidade, tu sabes o que é, no entanto tu não sabes o que é. (...) Algumas coisas são melhores do que outras, é isso, elas têm mais qualidade. (...) Mas afinal o que é qualidade? O que é?”. O termo qualidade não tem uma definição consensual entre os vários autores que a sugerem. De modo a clarificar o termo, de seguida são apresentadas na tabela 1 as perspetivas do conceito qualidade segundo especialistas e organismos da Qualidade.

Tabela 1 - Definição de Qualidade segundo vários autores

Autor	Definição
Philip B. Crosby	“Conformidade com os requisitos” (Crosby, 1979).
W Edwards Deming	“Boa qualidade significa um grau previsível de uniformidade e confiança com um padrão de qualidade adequado para o cliente” (como citado em Davis, 1999).
Armand.V. Feigenbaum	“É um desígnio do cliente, não da engenharia, marketing ou gestão” (Hoyer & Hoyer, 2001).
Kaoru Ishikawa	“Equivalente à satisfação do cliente” (Hoyer & Hoyer, 2001).
Joseph M. Juran	“Ausência de defeitos” e “apto para uso” (Juran & Godfrey, 1998).
Robert M. Pirsig	“Não é possível definir qualidade” (Hoyer & Hoyer, 2001).
Walter A. Shewhart	“Possui duas dimensões, uma subjetiva que diz respeito ao que o cliente quer e outra objetiva relacionada com as propriedades de um produto independentes das necessidades dos clientes” (Hoyer & Hoyer, 2001).
Genichi Taguchi	“è a perda que um produto causa à sociedade após ser expedido, exceto perdas causadas por funções intrínsecas” (Hoyer & Hoyer, 2001).
ISO 9000:2015	“Grau em que um conjunto de características inerentes satisfazem requisitos” (IPQ 2005).
ASQ	“As características de um produto ou serviço que afetam a sua capacidade de satisfazer necessidades explícitas ou implícitas (...) um produto ou serviço livre de defeitos” (ASQ, 2016).

2.3 Evolução Histórica da Qualidade

O conceito “qualidade” não é um termo recente, havendo registros do ano 3000 A.C acerca da civilização egípcia onde a preocupação por garantir a conformidade de bens é evidente. A pena de morte era aplicada ao responsável por uma obra em caso de desmoronamento (Ross, 1999, p.164). O tema evoluiu de acordo com a figura 1, sendo que cada fase possui características muito específicas e complementares da anterior.

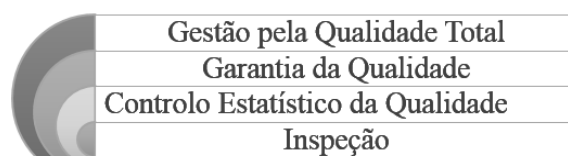


Figura 1 - Evolução da gestão da qualidade adaptado de Bergman & Klefsjö (2003)

2.3.1 Inspeção

No século XIII, na Europa, um conjunto de artesãos autores de peças exclusivas, implementaram uma abordagem de diferenciação dos seus produtos que deu outro sentido ao termo qualidade. Estes organizavam-se nas chamadas corporações de ofício, associações que regulamentavam o processo produtivo artesanal. Os artesãos responsáveis especificavam matérias-primas, processos produtivos, produtos finais e até métodos de inspeção (Rumane, 2011, p.2). A distinção dos produtos com qualidade dos outros era feita através da marcação dos produtos sem defeitos com uma marca especial ou símbolo. Através desta estratégia os artesãos conseguiam distinguir-se dos restantes, garantindo produtos de qualidade, ao mesmo tempo que aumentavam a confiança dos clientes (ASQ, 2016).

Em 1910 a *Ford Motor Company* impulsionou a produção em massa, padronização de bens e o início da nova era da indústria. Um ano mais tarde, Frederick W. Taylor desenvolveu o *Principles of Scientific Management*, que introduziu uma nova visão de gestão à qualidade. Taylor pretendia aumentar a produtividade sem aumentar o número de operadores especializados. Sugeriu a inclusão de operadores treinados apenas para a função de inspeção, libertando os restantes operadores para produção. Cada operador deixou de ser responsável por decidir se o seu trabalho estava conforme ou não, resultando num crescimento da produtividade, mas um decréscimo na qualidade dos bens. Desta debilidade dos processos apareceram os primeiros departamentos de controlo de qualidade para evitar entregar produtos defeituosos aos clientes. Associado à criação destes departamentos surgiram várias questões relacionadas com padrões, formação, registo de dados e a precisão dos equipamentos de medição. (The Evolution of Quality, s.d)

A função da operação inspeção era encontrar produtos de baixa qualidade através da escolha com a intenção de sucata-los, retribuí-los ou vendê-los como tal, sem dar importância a dados relacionados com a quantidade de defeitos. As ações corretivas resultantes da inspeção era a identificação das causas das não conformidades (Ross, 1999).

2.4 Controlo Estatístico da Qualidade

Na década de 30 introduziram-se métodos estatísticos para controlo da qualidade, provocando uma alteração de paradigma em relação ao que era feito até então, em que o foco era apenas na qualidade do produto final, passando-se também a olhar para o processo produtivo. O controlo estatístico da qualidade (SPC), foi desenvolvido inicialmente por Shewhart, e tem como objetivo o uso de técnicas estatísticas para controlar processos produtivos permitindo identificar ao longo do tempo desvios, em relação às especificações de qualidade e removê-los. Este desenvolveu uma ferramenta da qualidade que é ainda muito usada atualmente pelas organizações, as cartas de controlo. A figura 2 representa o seu formato geral. O SPC foi usado pela Ford e outras organizações para detetar desvios nos requisitos da qualidade dos produtos o mais cedo possível, em vez de apenas estar a rejeitar ou retrabalhar no final do processo produtivo (ASQ, 2016).

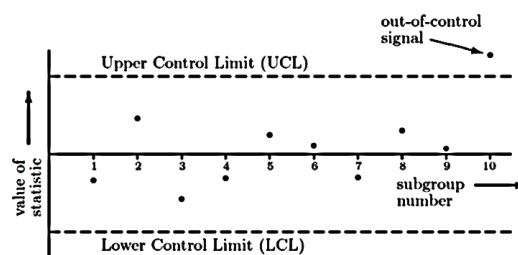


Figura 2 - Formato geral de uma carta de controlo, (Montgomery, 2009)

O trabalho de Shewhart foi mais além do SPC, ajudou também a incutir práticas de gestão que levam à melhoria contínua da qualidade. Foi baseado no seu trabalho que Deming desenvolveu mais tarde parte do seu trabalho. O ciclo de Shewhart ou mais conhecido por ciclo de Deming surgiu do trabalho de Shewhart como ferramenta que orienta o processo de melhoria da qualidade. Este divide-se em quatro etapas que dão origem ao seu nome, PDCA representando uma sigla inglesa para “*Plan, Do, Check, Act*”. Cada etapa consiste:

- **P** - Planeamento: Identificar o que pode ser melhorado e que alterações são necessárias;
- **D** - Execução: Executar as atividades de acordo com o planeamento, testando se possível primeiro em pequena escala para poder aprender acerca da transformação a realizar;
- **C** - Verificação: Analisar os resultados obtidos e determinar o que foi aprendido;
- **A** - Ação: Decidir se a proposta de solução é aceite ou rejeitada com base no seu sucesso. Em caso de aceitação deve-se garantir que leva a uma ação de melhoria permanente; esta última etapa do ciclo também pode servir para desenhar um novo plano com o objetivo de melhorar a qualidade, eficiência e eficácia, aprimorando a execução e corrigindo eventuais falhas (Werkema, 2013).

(Montgomery, 2009) defende que a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade. O SPC trouxe às organizações métodos para reduzir a variabilidade nos seus processos através de amostragem, permitindo uma atuação mais eficaz e menos morosa na eliminação dos desvios relacionados com a qualidade.

2.5 Garantia da Qualidade

A Garantia da Qualidade (GDQ) é considerada o terceiro salto na evolução da qualidade, e assenta em atividades de prevenção pré-processo produtivo (Bergquist et al., 2007). A ASQ define GDQ como *“all the planned and systematic activities implemented within the quality system that can be demonstrated to provide confidence that a product or service will fulfill requirements for quality.”* (ASQ, 2016).

(Montgomery, 2006) define GDQ como “o conjunto de atividades que garantem que o nível de qualidade do produto e serviço são devidamente mantidos, e que todas as questões relacionadas com a qualidade são devidamente resolvidas” A documentação que auxilia o processo de garantia de qualidade deve conter:

1. Políticas – O que deve ser feito e porquê;
2. Procedimentos – Focados nos métodos e nas pessoas que vão implementar as políticas;
3. Instruções de trabalho e Especificações – Orientadas para departamentos, máquinas, ferramentas e produtos;
4. Registos – Registar as políticas, procedimentos e instruções de trabalho e especificações. Fornecer dados para gerar informação que auxilie a análise e correção de desvios e reclamações dos clientes;

A GDQ trouxe a envolvimento de todas as partes interessadas das organizações, nas questões relacionadas com a qualidade, deixando de ser apenas da responsabilidade dos departamentos da qualidade. Esta nova abordagem assenta no seguinte, segundo Juran & Gryna (1991):

- “O controlo da qualidade no desenho de um produto começa e acaba na entrega ao cliente”;
- “O controlo é feito por colaboradores especializados em operações de inspeção e por todos os envolvidos em processos produtivos ou de serviços”;
- “Para alcançar os objetivos da GDQ é necessário envolver todos os departamentos das organizações. Os intervenientes deste processo devem estar a par dos requisitos em termos de qualidade acerca do seu trabalho e agir em cooperação.”

O conceito trilogia de Juran surge para demonstrar que a qualidade de um produto é influenciada desde a sua conceção, até que este é entregue ao cliente. A figura 3 representa um gráfico do custo da baixa qualidade versus tempo, e mostra como os três processos da trilogia, planeamento, controlo e melhoria interagem. Se durante o planeamento a definição das características do produto e desenho dos processos para o construir, baseado na informação obtida junto dos clientes for bem-sucedida, os custos da não qualidade serão baixos. Por outro lado se a fase de planeamento for mal sucedida, pode gerar um desperdício crónico após a implementação, dos processos produtivos desadequados. Numa situação desta natureza o que os operacionais fazem, uma vez que não têm como responsabilidade resolver os problemas, é uma inspeção do que está ser produzido para evitar entregas de produtos não conformes. Este cenário traz as organizações a oportunidade de melhorar os processos para que os produtos sejam produzidos de acordo

com a qualidade esperada. Após a identificação e redesenho dos processos é possível atingir uma nova zona de controle de qualidade onde os custos da não qualidade são baixos.

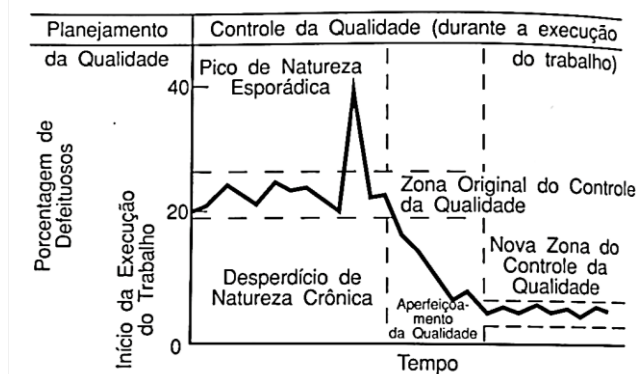


Figura 3 - Trilogia de Juran (Juran & Gryna, 1991)

É este o âmbito da GDQ, i.e. antecipar o mais cedo possível as falhas e os seus efeitos e resolvê-los através da implementação de auditorias, manuais da qualidade, controlo de processos, aplicação de ferramentas como a análise de modo e efeito de falha (FMEA) e a avaliação de custos de qualidade. A implementação destas práticas propostas pela garantia da qualidade levou à criação de normas que são usadas até hoje. A Norma ISO 9000 e suas homólogas, que definem um conjunto de padrões para a certificação de entre vários sistemas de gestão, os sistemas de gestão da qualidade que nasceram da implementação de práticas para a GDQ. A GDQ veio assegurar confiança no cumprimento dos requisitos dos produtos e serviços, através do uso de documentação que orienta a implementação de instrumentos para que as organizações atinjam o nível de qualidade definido como objetivo para o cliente e para a organização.

2.6 Gestão pela Qualidade Total

O trabalho realizado por Deming, Juran e Ishikawa até os anos 50 serviram de base e deram origem a outra tendência no que diz respeito à evolução da qualidade, a Gestão pela Qualidade Total (TQM), que advém do termo inglês *Total Quality Management*. Foram os avanços alcançados após a II guerra mundial pelas organizações Japonesas que inspirando-se no trabalho realizado pela cultura ocidental, fizeram com que estes voltassem a focar nesta área Bergquist et al. (2007). As estratégias utilizadas pelo Japão à volta do TQM trouxeram não só um aumento das vendas nos mercados internos e externos com preços mais baixos, como aumentaram a qualidade dos seus produtos.

Hellsten & Klefsjö (2000) citado por Bergquist et al. (2007) definem TQM como “um sistema de gestão que evolui continuamente, composto por valores, metodologias e ferramentas, com o objetivo de aumentar a satisfação dos clientes internos e externos com uma quantidade reduzida de recursos”. A figura 5 representa um modelo proposto por Kujala & Lillrank (2004) citado por Bergquist et al. (2007) no qual se defende que os três componentes do TQM são interdependentes e complementares entre si.

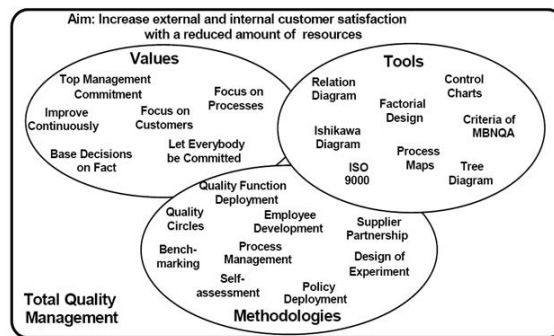


Figura 4 -Elementos do TQM, adaptado de (Hellsten and Klefsjö, 2000)

A TQM é considerada por muitos autores como um fracasso, passando apenas por uma moda ou filosofia Becker (1993, p. 30). No início do século XX a qualidade atingiu um nível de maturidade levando ao surgimento de novas metodologias. O Seis Sigma como forma de melhorar processos e minimizar defeitos; a revisão feita em 2000 às normas ISO 9000 para aumentar o foco na satisfação do cliente; o desdobramento da Função Qualidade (QFD) e a extensão das práticas da qualidade aos serviços, educação, saúde e governo são alguns exemplos. O TQM assenta em zero defeitos, excelência e exceder as expectativas dos clientes internos e externos (Hellsten and Klefsjö, 2000).

2.7 Custos da qualidade

O conceito de custos da qualidade nasceu da literatura relacionada com o controlo da qualidade, Juran & Godfrey (1998), no seu livro *Quality Control Handbook* foi um dos primeiros autores a publicar sobre a temática. A sua definição tem como objetivo suportar as ações de melhoria da qualidade e de ser usada como métrica da qualidade das organizações. A figura 4 ilustra graficamente a relação entre os custos da qualidade e a % de conformidade alcançada.

Flott (1995) citado por Ahmad, et al. (2012) descreve os assuntos principais relacionados com o TQM, entre eles está o Custo da Qualidade, que segundo a sua perspetiva deve ser visto como o custo da não qualidade, que é um indicador da satisfação do cliente. Juran & Godfrey (1998, p. 251) mencionam vários significados para o conceito, entre eles: custo incorrido na identificação e correção de defeitos; custos para alcançar a qualidade; e custos associados à manutenção do departamento da qualidade. No entanto para os autores o conceito assenta nos custos incorridos da baixa qualidade associados aos produtos não conformes, processos inadequados e da perda de oportunidades de vendas, sendo neste conceito que o presente documento assenta.

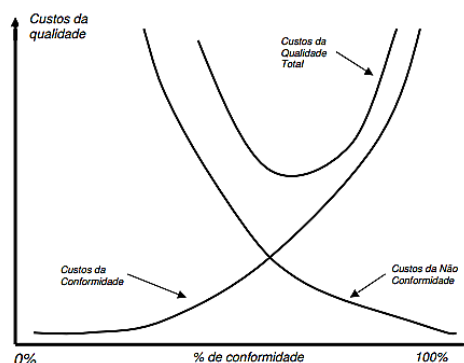


Figura 5 - Modelo do custo da qualidade proposto por Juran , adaptado de Juran & Godfrey (1998)

Os custos da qualidade são divididos em quatro categorias. De seguida será explicado em que consiste cada uma delas, segundo Juran (1998, p. 250-261) e a tabela 2 resume vários exemplos típicos de custos da qualidade dentro e fora das organizações:

- **Custos de Prevenção:** São todos os custos incorridos para evitar que falhas aconteçam (os custos associados às ações de prevenção, investigação das causas ou redução de defeitos e falhas). Tais custos tem como objetivo controlar a qualidade dos produtos, de forma a evitar gastos provenientes de erros no sistema produtivo.
- **Custos de Avaliação:** São os custos necessários para avaliar a qualidade do produto pela primeira vez e assim, detetar falhas e inconsistências antes que o produto seja posto no mercado.
- **Falhas Internas:** Os custos das falhas internas são todos aqueles incorridos devido a algum erro do processo produtivo, seja ele falha humana ou falha de equipamento mecânico. Quanto mais cedo os erros são detetados, menores serão os custos envolvidos para corrigi-los.
- **Falhas Externas:** Os custos de falhas externas são aqueles decorrentes de falhas no produto ou serviço quando estes se encontram no mercado e/ou são adquiridos pelo consumidor final. Falhas externas ocasionam grandes perdas em custos intangíveis, como destruição da figura e credibilidade da empresa. Quanto mais tarde estes erros forem detetados, maiores serão os custos envolvidos para corrigi-los, além de ocasionar perdas que muitas vezes são irreversíveis.

Tabela 2 - Custos da Qualidade, (adaptado de Juran & Godfrey (1998).)

Custos da Qualidade	
Custos de Prevenção	Falhas Internas
Planeamento da qualidade	Sucata
Revisão de novos produtos	Retrabalho
Desenho de produtos e processos	Reinspeção
Controlo de processo	Análise de falhas
Recolha e análise de dados	Perda de produção
Formação	Tempo de paragem
Custos de Avaliação	Falhas Externas
Inspeção da matéria-prima	Resposta a reclamações
Inspeção e teste de produtos	Material devolvido
Serviços e materiais consumidos	Ativação de garantia
Calibração dos equipamentos de teste	Custos indiretos

2.8 6 Sigma

O Seis-Sigma ocupa um papel de referência na Gestão da Qualidade, sendo utilizado por organizações de vários sectores. Nesta secção apresenta-se uma revisão dos fundamentos do Seis-Sigma, dando especial ênfase à metodologia base da sua aplicação, o DMAIC e às ferramentas aplicáveis em cada etapa da metodologia.

2.8.1 História, Definição e Alicerces

Nos anos 80 a Motorola desenvolveu uma abordagem, assente num sistema de avaliação de desempenho de processos, com o objetivo de diminuir a sua variabilidade, atender às exigências do cliente através da redução do número de defeitos, de modo a combater a concorrência dos produtos provenientes de empresas do mercado Japonês. A esta deu o nome de Seis-Sigma, que pode ser definida como: “uma abordagem robusta e sistemática, focada no cliente e noutras partes interessadas chave”. Entre os anos 1987 e 1993 foi quando as organizações começaram a aplicar a metodologia para projetos de melhoria. A Motorola reduziu cerca de 1300% os seus defeitos, (Montgomery, 2009).

O Sigma ou desvio-padrão é representado pelo símbolo grego “ σ ” e é usado como medida de variação, indicando a diferença entre um elemento e a média geral da população onde este está inserido, (Gygi, Decarlo, & Williams, 2005). A figura 6 ilustra uma distribuição normal para uma dada característica da qualidade, em que o limite inferior e superior de especificação, localiza-se a três desvios padrão face à média.

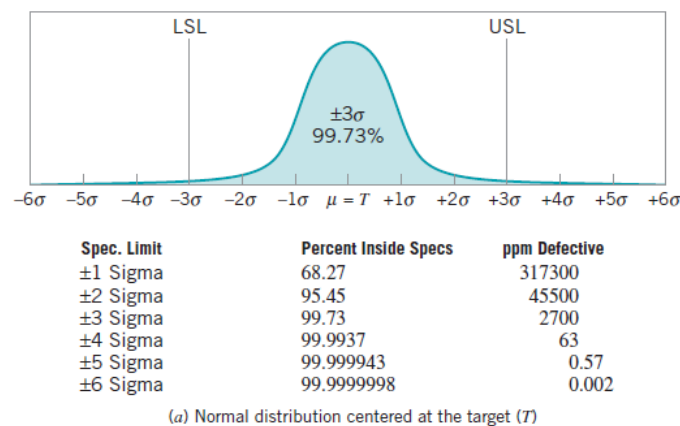


Figura 6 - Conceito de Seis-Sigma, pela Motorola (Montgomery, 1996)

Para o cálculo do desvio padrão usamos as equações 1 e 2, no caso de termos uma amostra ou para a população, em que o \bar{x} , representa a média, o x_i o valor de cada elemento i e o n o total de observações.

$$\sigma_{\text{amostra}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Equação 1

$$\sigma_{população} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Equação 2

Linderman (2003) sugere outra definição para o Seis-Sigma “(...) é um método organizado e sistemático de melhoria estratégica de processos e novos produtos e desenvolvimento de novos produtos e serviços que se baseia em métodos estatísticos e no método científico para efetuar reduções muito significativas nas taxas de defeito definidas pelo cliente.” Este também refere que o nome Seis-Sigma só por si já sugere um objetivo i.e. 3.4 defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). A figura 7 representa as diferentes taxas de defeitos para cada nível de sigma. Atingir um nível de Sigma seis, significa que por cada milhão de produtos produzidos 99,99966% vão de encontro com as necessidades dos clientes.

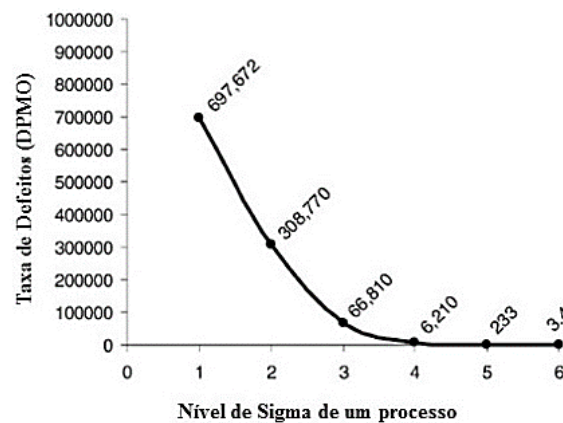


Figura 7 - Taxa de Defeitos por nível Sigma de um processo (adaptado de Linderman, 2003)

Os DPMO representa o número de defeitos numa amostra, divididos pelo número total de oportunidades defeituosas multiplicadas por 1 milhão. Os DPMO padronizam o número de defeitos no nível de oportunidade e são úteis porque permitem comparar processos com diferentes complexidades e produtos (Brue, 2002). Para o cálculo do DPMO cuja equação se apresenta na equação 3, usamos outra equação auxiliar, representada pela equação 4, que diz respeito aos defeitos por oportunidade (DPO). As saídas sem defeitos de um processo são dadas pela equação 5, designada habitualmente por *Yield*.

$$DPO = \frac{n^{\circ} \text{ de defeitos}}{n^{\circ} \text{ de unidades} \times n^{\circ} \text{ de oportunidades}}$$

Equação 3

$$DPMO = DPO \times 1.000.000$$

Equação 4

$$Yield = (1 - DPO) \times 100$$

Equação 5

O Seis-Sigma, evoluiu ao longo de três gerações complementares que formam marcos de maturidade da metodologia. A tabela 3 demonstra em que consistiu cada geração. Ao longo deste processo evolutivo construíram-se os cinco pilares que levam ao sucesso da aplicação prática da metodologia. Estes servem de guia às organizações que pretendem colocar o seu negócio num nível de excelência superior.

Tabela 3 - Evolução do Seis-Sigma (adaptado de Montgomery & Woodall (2008))

Evolução do Seis-Sigma	
Geração I	Foco na eliminação de defeitos e redução da variabilidade de processos
Geração II	Mantém o foco da geração anterior e direciona as atenções para a redução de custos e melhoria do negócio
Geração III	Foco em acrescentar valor ao longo de toda a organização e para todas as partes interessadas

Os cinco pilares para o sucesso de um projeto Seis-Sigma são, segundo Werkema (2013):

1. Saber o que é crítico para a qualidade, do ponto de vista dos clientes e todas as partes interessadas;
2. Possuir conhecimento sobre os processos e o seu funcionamento, além dos objetivos e garantir que estes estão focados nos requisitos dos clientes;
3. Efetuar decisões baseadas em factos para que estas sejam mais eficazes. A variação do processo permite saber onde é o foco de atuação;
4. Dotar as equipas e os seus membros de meios para que estes sintam e possam melhorar os processos e a forma como estes trabalham;
5. Tornar as ações de melhoria numa sistemática contínua através do uso de metodologias guia para a sua implementação, como o DMAIC para processos existente e o DMADV para novos processos;

A aplicação de programas Seis-Sigma quando conjugada com outros métodos de melhoria contínua leva a ganhos que são ainda maiores comparativamente com os métodos anteriores, como o TQM. Uma das conjugações mais poderosa é o uso do Seis-Sigma com o *Lean Management* (Montgomery, 1996). O nível de sigma 6, não tem que ser obrigatoriamente atingido por todos os processos dentro das organizações. Aquando do início de um projeto Seis-Sigma deve ser avaliada a importância estratégica de cada processo e o custo associado à implementação de ações de melhoria versus o benefício. É importante ainda referir que uma melhoria de um nível de sigma inferior para outro superior, mesmo que seja apenas de um nível para o seguinte, pode reduzir drasticamente a taxa de defeitos, aumentar a satisfação do cliente e trazer benefícios financeiros (Laureani et al., 2010). Importa referir que quanto maior for o nível de sigma mais difícil e dispendioso se torna o processo para alcançar o nível seguinte.

2.8.2 Seis Sigma como ferramenta da Qualidade

O Seis-sigma surgiu como uma abordagem à melhoria da qualidade (Edgeman et al., 2001). O sucesso da aplicação dos métodos e princípios base deste levaram a que muitas organizações o implementassem como forma de diferenciação no que diz respeito à

qualidade dos produtos que oferecem Dusharme (2006) fez um estudo a empresas que utilizam o Seis-Sigma como ferramenta de melhoria de processos, e os resultados indicam que 53.6% dos inquiridos apontam como sendo a metodologia que traz melhores resultados, face a outras abordagens antecessoras como o *Lean Thinking*, *SPC* e *TQM*, com 26,3%, 20.1% e 10,3% respetivamente. Ainda em relação a este concluiu-se que 18% das empresas utilizam a metodologia na área do fabrico, sendo esta a área em que é mais aplicada e 10% em operações de teste/inspeção. Quando se refere a sua aplicação em áreas de fabrico, Kwak & Anbari (2006) referem melhorias 88% em tempo de inspeção e 1000% em processos de melhoria da qualidade em operações soldadura.

2.8.3 DMAIC

O DMAIC é uma metodologia de resolução de problemas, baseada em dados. É maioritariamente utilizada em projetos Seis-Sigma, mas pode ser adotada como ferramenta para melhoria da qualidade ou outro processo de forma contínua. É constituído, por cinco fases, em que em cada uma delas vai-se buscar informação à etapa anterior, com o objetivo de implementar soluções a manter a longo prazo para a resolução problemas (Borrór, 2008). O DMAIC é o acrónimo em inglês para as cinco fases que o constituem, **D** - *Define*, **M** - *Measure*, **A** - *Analyze*, **I** - *Improve* e **C** - *Control*.

Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas em cada fase desta metodologia, a tabela 4, resume as ações que devem ser executadas e as ferramentas que podem ser aplicadas (Werkema, 2013).

Tabela 4 - Etapas do DMAIC (adaptado de (Werkema, 2013))

Etapas	Ações	Ferramentas
Definir	Identificação do problema e definição de objetivos, a equipa de trabalho envolvida, elaborar um gráfico temporal do projeto	Project Charter
	Identificar as principais necessidades dos clientes	Voz do Cliente
	Definição do principal processo do projeto	Mapeamento da Cadeia de Valor (VSM) SIPOC
Medir	Decidir se serão usados os dados existentes ou se serão recolhidos novos	Análise dos sistemas de medição (MSA)
	Identificar como serão recolhidos os dados, por data, por turno, por referência, etc.	Estratificação
	Recolher dados	Folha de verificação Amostragem Plano para recolha de dados
	Preparar e testar os Sistemas de Medição	MSA
	Priorizar problemas, analisando o impacto das várias partes do problema	Gráfico de Pareto VSM Ferramentas <i>Lean</i>
Analisar	Análise do processo que provoca o problema prioritário	Fluxograma Mapa de Processo FMEA VSM Ferramentas <i>Lean</i>
	Identificar causas do problema central	Brainstorming Diagrama Causa-Efeito

	Diagrama de Relações Diagrama de Afinidades
Priorizar as causas	Diagrama de Matriz Matriz de Priorização
Quantificar a importância das causas prioritárias	MSA Carta de Controlo Diagrama de dispersão Teste de hipóteses Análise de Variância Planeamento de experiências Ferramentas <i>Lean</i>
Melhorar	<i>Brainstorming</i> Diagrama de Causa-Efeito Diagrama de Afinidades Diagrama de Relações
	Simulação 5S TPM Gestão Visual Redução de Setup <i>Poka-Yoke</i>
	5W2H Diagrama de Árvore Diagrama de Gantt 5S TPM Gestão Visual Redução de Setup <i>Poka-Yoke</i> Ferramentas <i>Lean</i>
	Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala
Controlar	Avaliar o alcance da meta em larga escala Gráfico de Pareto Carta de Controlo Histograma Capabilidade Ferramentas <i>Lean</i> Ferramentas Seis-Sigma VSM
	Padronizar as alterações realizadas no processo Gestão Visual 5S TMP Estandardização <i>Poka-Yoke</i>
	Informar as partes interessadas acerca dos novos <i>standards</i> adotados Manuais Formação Gestão Visual
	Monitorizar através de indicadores de performance o processo e a eficácia das soluções implementadas Recolha de dados Carta de Controlo Amostragem Ferramentas <i>Lean</i> Capabilidade MSA
	Resumir as lições aprendidas e sugerir trabalhos futuros

Ferramentas da Metodologia DMAIC

De seguida será feita uma revisão teórica dos conceitos das principais ferramentas usadas na aplicação do DMAIC no presente trabalho. No que diz respeito à ferramenta Análise de Sistemas de Medição, e uma vez que é um tópico pouco abordado na literatura, o conteúdo exposto terá como base o manual de referência, Análise de Sistemas de Medição - 4ª Edição, da *Automotive Industry Action Group* (AIAG).

2.8.4 Análise de Sistemas de Medição - O Processo de Medição

IPQ (2012) refere que medição é o “*Conjunto de operações que têm por objetivo determinar o valor de uma grandeza. Estas operações são realizadas manual ou automaticamente*”. O resultado do processo de medição é a obtenção de dados que depois de tratados formam informação de suporte a decisões, conforme exibido na figura 9. A recolha de dados através de um conjunto de medições é uma forma objetiva de aferir o que efetivamente o processo produtivo está a fazer. Associando estes dados ao conhecimento do que o processo devia estar a fazer e o que pode originar um desvio está reunida informação suficiente para gerir a variação de qualquer processo, Down et al. (2010). De modo a serem tomadas decisões eficazes, acerca do ajuste de um processo produtivo, é importante partir de dados com qualidade, ou seja, baixa variação e boa estabilidade. Dados de alta qualidade levam a conclusões de alta qualidade e vice-versa. Os benefícios de usar métodos baseados na recolha de dados estão diretamente relacionados com a qualidade dos mesmos (Portal Action, 2017).

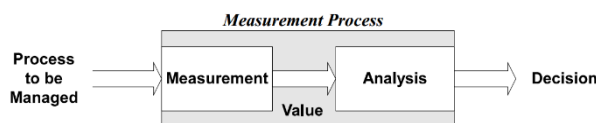


Figura 8 - Processo de medição (Down et al., 2010))

2.8.4.1 Sistema de Medição

O Sistema de Medição (SM) é o processo completo usado para a obtenção das medições. Faz parte dele o conjunto dos elementos usados para quantificar uma determinada característica, Menezes (2013). A figura 10 demonstra o conjunto desses elementos. Um erro comum das organizações é focarem-se apenas em um elemento do SM, o equipamento de medição, adquirindo os melhores instrumentos de medição quanto mais crítica for a característica a inspecionar, mas tal não é suficiente para retirar proveito da sua utilização. É necessário saber como operar, interpretar resultados, realizar formação operacional e definir um padrão para o método de inspeção (Down et al., 2010).

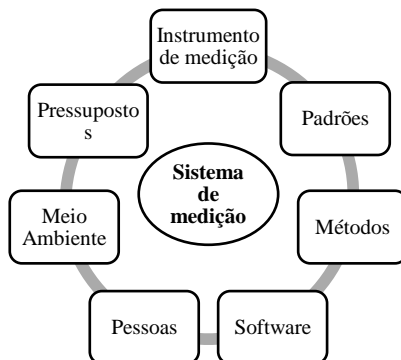


Figura 9 - Sistema de medição e seus componentes (adaptado de Rainho (2016))

2.8.4.2 Variação do Processo de Medição

Para a maior parte dos processos de medição, a variação total da medição é descrita como uma distribuição normal, como tal todos os métodos usados no MSA baseiam-se neste pressuposto. Nos sistemas onde a normalidade não é verificada o erro do SM pode ser subestimado. A variação do processo de medição (PM) divide-se em duas categorias: a localização, que diz respeito à localização dos valores face ao valor de referência, e a amplitude que se refere à dispersão dos valores, a figura 10 ilustra o anterior (Down et al., 2010).

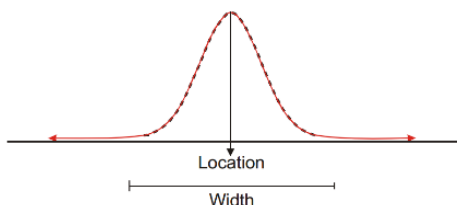


Figura 10 - Variação do processo de medição, Down et al., (2010)

2.8.4.2.1 Variação na Localização (valor médio de medição vs. valor real)

A variação na localização dos valores recolhidos aquando uma medição, face ao valor de referência, tem associado um conjunto de conceitos que suportam a análise dos mesmos, estes conceitos serão apresentados nesta seção.

Tendência

A tendência, do inglês *bias*, é a diferença entre valor real da peça e a média dos valores obtidos na medição de uma dada característica na mesma peça. Down et al. (2010) recomenda a distinção entre precisão e tendência, uma vez que ambos são muitas vezes usados para referir-se ao mesmo. A precisão é um conceito genérico que está relacionado com a proximidade entre as médias de uma ou mais medições e um valor de referência, a figura 11 ilustra este conceito. Apenas podemos falar de precisão se estivermos perante um PM sob controlo estatístico.

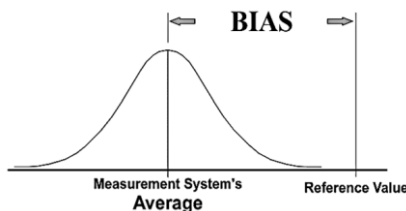


Figura 11 – Representação do conceito de tendência, Down et al., (2010)

A precisão é a variação observada no valor medido quando medimos repetidamente a mesma peça com o mesmo instrumento de medição. A tendência é a medida do erro sistemático do sistema de medição. É a contribuição para o erro total do SM de todas as fontes de variação, conhecidas e desconhecidas, Down et al. (2010).

Principais causas para uma tendência elevada:

- O instrumento de medição necessita de calibração;
 - Apresenta desgaste;
 - Não é o melhor para a aplicação;
 - Tem uma construção com robustez fraca;
 - Ajuste do zero do aparelho realizada de forma errada;

- Medição de características erradas;
- Treino do avaliador;
- Método de medição incorreto;
- Ambiente – temperatura, humidade, vibração, limpeza;
- Erro de Linearidade;

Estabilidade

A estabilidade é a variação total nas medições a uma dada característica realizada às mesmas peças durante um longo período de tempo, no mesmo SM, a figura 12 ilustra este conceito.

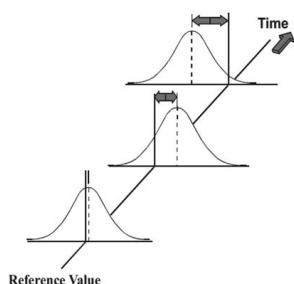


Figura 12 - Representação do conceito de estabilidade, Down et al., (2010)

A instabilidade pode verificar-se devido a fatores associados com o instrumento de medição, nomeadamente:

- Necessita de calibração, devendo encurtar os períodos de calibração;
- Está obsoleto;
- Não tem a manutenção, correta acumulando pó, corrosão, entre outros;
- Erro no ajuste do zero;

Linearidade

A linearidade é uma medida da diferença na tendência ao longo do alcance operacional esperado do instrumento de medição, a figura 13 ilustra este conceito.

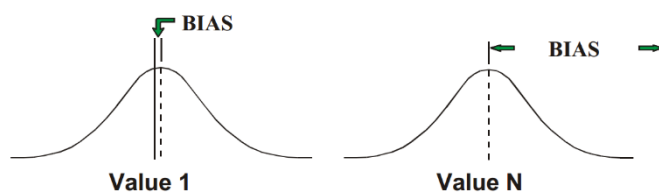


Figura 13 - Representação do conceito de linearidade, Down et al., (2010)

O erro da linearidade pode verificar-se devido, a fatores associados com o instrumento de medição, nomeadamente:

- Necessitar de calibração, devendo encurtar os períodos de calibração;
- Estão obsoletos;
- Não ter manutenção, correta acumulando pó, corrosão, entre outros;
- Erro no ajuste do zero, mínimo/máximo;
- A calibração não cobrir um longo alcance operacional;

2.8.4.2.2 Variação na Amplitude

A variação na amplitude dos valores recolhidos aquando uma medição, está relacionada com a dispersão dos valores medidos. Esta variação está relacionada com os conceitos de repetibilidade, reprodutibilidade, GRR, sensibilidade, consistência e uniformidade.

Repetibilidade

A repetibilidade é a variação nas medições obtidas com um equipamento de medição, quando este é utilizado várias vezes por um avaliador para medir a mesma característica na mesma peça. Está associado ao equipamento de medição, e é muitas vezes tratada como a Variação do Equipamento (EV). Apesar desta definição, a repetibilidade pode também ser vista como a variação dentro do sistema sob condições de medição fixas e definidas, sendo a causa comum de variação (erro aleatório).

Principais causas para fraca repetibilidade:

- Intra Peça: Forma, posição, acabamento superficial, consistência da amostra;
- Intra Instrumento: Fraca qualidade ou manutenção, reparação, desgaste;
- Intra Padrão: qualidade, desgaste;
- Intra Método: variação na configuração, técnica, manuseamento, ajuste do zero, fixação;
- Intra Avaliador: técnica, posição, inexperiência, cansaço ou falta de formação;
- Intra Ambiente: humidade, vibração, curtas variações de temperatura, iluminação, limpeza;
- Deformação da peça ou do equipamento de medição, falta de rigidez;

Reprodutibilidade

A reprodutibilidade é a variação na média das medições realizadas por diferentes operadores, usando o mesmo instrumento de medição ao medir características idênticas na mesma peça, a figura 14 ilustra este conceito. Quando as medições são obtidas através de sistemas automáticos a experiência ou treino do avaliador não é a maior fonte de variação, logo a definição anterior não se verifica podendo ser vista como a média da variação entre sistemas ou entre condições de medição.

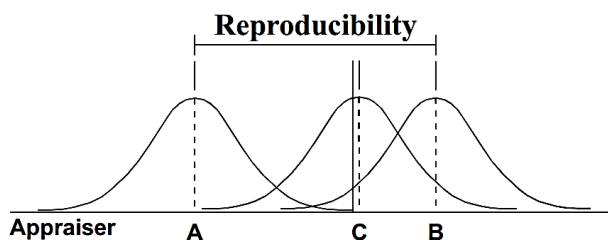


Figura 14 - Representação do conceito de reprodutibilidade, Down et al., (2010)

Potencias fontes de erro de reprodutibilidade:

- Entre Peças: Diferença média quando medidas várias peças, usando o mesmo instrumento de medição, avaliadores e método;
- Entre Instrumentos: Diferença média quando usados diferentes instrumentos de medição, para as mesmas peças, avaliadores e ambiente;

- Entre Padrões: influencia média de diferentes configurações padrão no processo de medição;
- Entre Métodos: diferença média causada por alterar sistemas manuais versus automáticos, ajuste do zero ou métodos de fixação;
- Entre Avaliadores: diferença média entre diferentes avaliadores, influenciada pelo treino, experiência individual ou técnica usada;
- Entre Ambiente: Diferença média entre medições realizadas em diferentes períodos;

GRR

O GRR é uma estimativa da variação combinada da repetibilidade e reprodutibilidade, sendo o somatório da variação entre sistemas e dentro do sistema.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reprodutibilidade}^2 + \sigma_{repetibilidade}^2$$

Equação 6

Sensibilidade

Índice de discriminação ou Sensibilidade – o nº de casas decimais que pode ser medido pelo sistema de medição. Os incrementos da medida devem ser pelo menos 1/10 da largura da especificação do produto ou da variação do processo.

A sensibilidade pode ser afetada por:

- Habilidade do avaliador;
- Repetibilidade do instrumento de medição;
- Capacidade de proporcionar movimentos livres no caso de aparelhos eletrônicos ou pneumáticos;
- Condições de utilização sob as quais o instrumento opera;

Consistência

A consistência pode ser vista como a repetibilidade ao longo do tempo, e é a diferença da variação em medições realizadas ao longo do tempo.

Os fatores com impacto na consistência são causas especiais de variação:

- Temperatura das peças;
- Período de aquecimento em aparelhos eletrônicos;
- Equipamento com desgaste;

Uniformidade

A uniformidade é a diferença na variação ao longo de extensão de operação do equipamento.

- Paralaxe nas leituras;
- Fraca legibilidade na escala;
- Acessório de fixação permite posicionar de formas diferentes;

2.8.4.3 Propriedades Estatísticas e Variação do SM

Um SM ideal seria aquele em que a probabilidade de classificar uma peça conforme como não conforme e vice-versa, a variação do processo de medição e a diferença entre a média das medidas de uma grandeza e o valor de referência fosse nula. Sendo difícil atingir este nível, de uma forma economicamente viável, podemos ter como referência certas propriedades fundamentais que definem um SM como bom (Down et al., 2010):

- Discriminação e sensibilidade adequadas. A discriminação ou a resolução é a capacidade do SM detetar e sinalizar, com um elevado grau de confiança, pequenas mudanças nas características medidas (Menezes, 2013);
- Estar sob controlo estatístico, ou seja quando efetuamos diferentes medições sob as mesmas condições a variação do SM deve-se apenas a causas comuns e não a causas especiais;
- Para controlo de produto, a variabilidade do SM deve ser pequena quando comparada com os limites de especificação;
- Para controlo de processo, a variabilidade do SM deve ser pequena quando comparada com a variação do processo de produção.

A qualidade de um SM está associada às propriedades estatísticas dos dados que gera. O que se procura obter no SM é pouca variação, possibilitando uma análise correta do produto e/ou processo levando a decisões eficazes. A figura 11 ilustra várias fontes de variação de um SM.

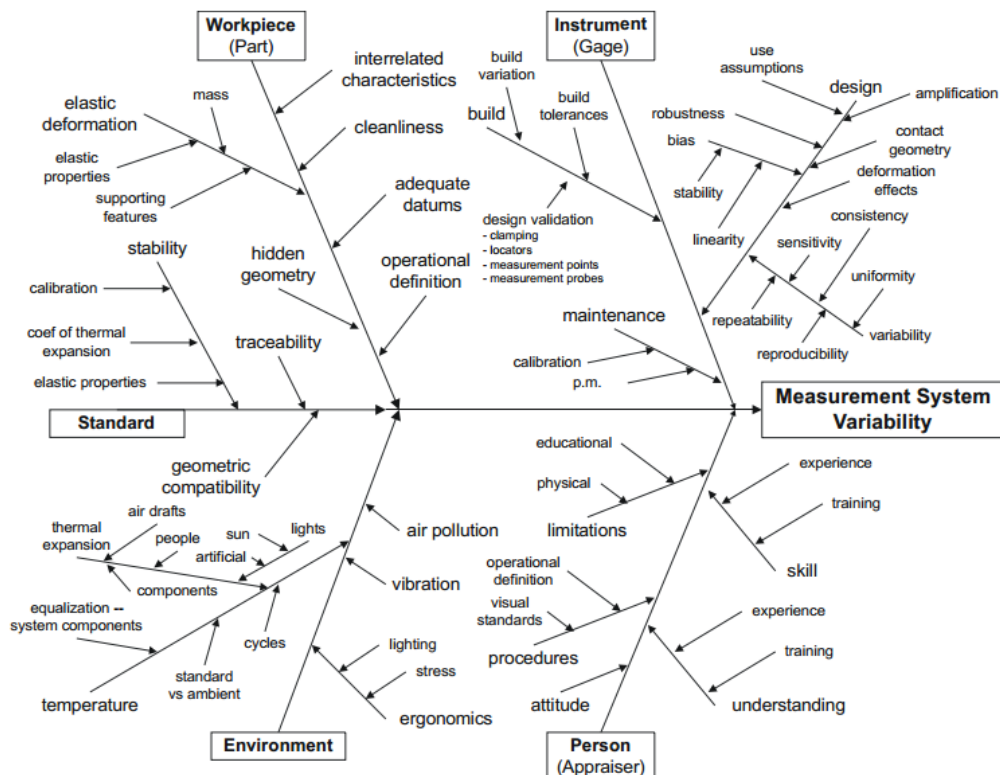


Figura 15- Potencias causas de variação de um SM (Down et al., 2010)

O efeito desta variabilidade deve ser estudado a curto e a longo prazo. Quando este efeito é avaliado a curto prazo estamos perante a capacidade do SM, que resulta da combinação da quantificação dos erros da linearidade, consistência, repetibilidade e reprodutibilidade.

Os conceitos de linearidade, consistência, repetibilidade e reprodutibilidade estão definidos no capítulo 2.8.4.2. A performance do SM é o efeito de todas as fontes de variação ao longo do tempo. Esta pode ser alcançada através da determinação se o processo está sob controlo estatístico; não existe nesse caso tendência e a variação é aceitável ao longo dos através da verificação do *gauge repeatability and reproducibility (GRR)*, Down et al. (2010). A definição de GRR pode ser encontrada no capítulo 2.8.4.2.2. A figura 12 resume como a variação total do SM está distribuída e os seus componentes.

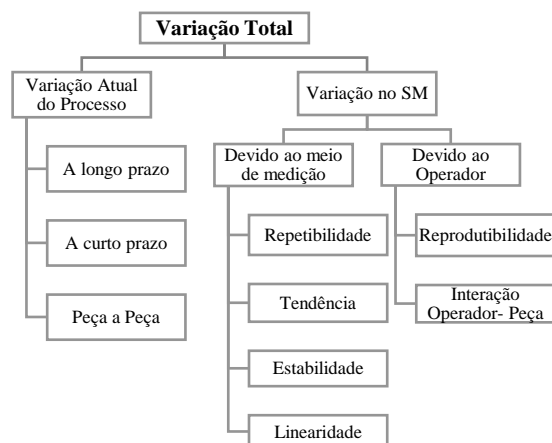


Figura 16 - Distribuição da variação total

O erro do SM resulta do efeito cumulativo das várias fontes de variação. Estas provocam resultados diferentes em medições sobre a mesma peça, influenciando diretamente as decisões tomadas baseadas nestes dados. Consoante o objetivo do estudo o efeito do erro do SM tem efeito nas decisões tomadas sob o processo e o produto.

No caso das alterações a serem feitas recaírem sob o produto podemos ter dois erros associados, que acontecem quando o resultado da medição sobrepõe-se a um limite de especificação, sendo estes:

- Erro do tipo I, quando o avaliador classifica uma peça OK como NOK, e diz respeito à Taxa de falso alarme;
- Erro do tipo II, quando o avaliador classifica uma peça NOK como OK, e diz respeito à Taxa de má classificação.

As definições anteriores dos erros do tipo I e II são válidas assumindo que a variação associada a várias medições sob a mesma peça deve-se ao *GRR*, ou seja zero tendência e estar sob controlo estatístico. A combinação destes dois tipos de erro dá resultado à taxa de erro, apresentada na equação 7.

$$Taxa\ de\ erro = Taxa\ de\ falso\ alarme + Taxa\ de\ má\ classificação$$

Equação 7

O potencial de tomar uma decisão errada apenas existe quando o erro do SM interseta os limites de especificação identificados na figura 13, originando três zonas distintas. A figura 13 ilustra essas três zonas que correspondem aos resultados possíveis da classificação de uma peça.

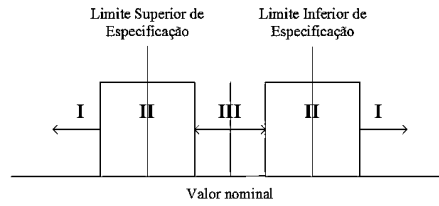


Figura 17 - Resultados possíveis de classificação de uma peça

- Zona I - As peças NOK são sempre classificadas como NOK;
- Zona II - É chamada de zona cinza, existe uma elevada probabilidade de decisão errada (classificar peça boa em má e vice-versa);
- Zona III - As peças OK serão classificadas sempre como OK;

A importância de dispor de um SM que produza resultados exatos, na aferição do estado real de uma peça, prende-se com a correta tomada de decisões o maior número de vezes. Assim sendo, quando identificadas oportunidades de melhoria no SM, estas podem recair sobre o processo produtivo, com o objetivo de reduzir a variabilidade, de modo a que as peças produzidas recaiam sempre na zona III. Quando aplicadas no SM para reduzir o erro do SM e o tamanho da zona II para que as peças produzidas recaiam sob a zona III e minimizando o risco de tomar uma decisão errada.

O efeito da variação na tomada de decisões relacionadas ligadas com o processo produtivo diz respeito à classificação de uma causa comum em especial, ou uma especial em comum. A variabilidade de um SM pode afetar um decisão relativamente à estabilidade, tendência e variação de um processo. A equação 8 mostra a relação entre a variação real e a observada. A diferença entre a variação real e a observada é que a observada inclui a componente do sistema de medição.

$$\sigma_{obs}^2 = \sigma_{real}^2 + \sigma_{msa}^2$$

Equação 8

Em que:

- σ_{obs}^2 - Variação observada do processo
- σ_{real}^2 - Variação real do processo
- σ_{msa}^2 - Variação do sistema de medição

$$Cp = \frac{\text{intervalo de tolerância}}{6\sigma}$$

Equação 9

A relação entre o índice de capacidade do processo observado e o real é derivada através da substituição da equação 8 do Cp pela variância observada descrita na equação 9. Assumindo que o SM está sob controlo estatístico o Cp_{real} pode ser comparado graficamente com o Cp_{obs} .

$$(Cp)_{obs}^{-2} = (Cp)_{real}^{-2} + (Cp)_{msa}^{-2}$$

Equação 9

2.8.4.4 Aplicações da Análise ao Sistema de Medição.

O MSA pode ser usado para várias aplicações (Rainho, 2016):

- Um critério para aceitação de um novo equipamento de medição;
- Realizar uma comparação entre dois dispositivos de medição;
- Aferir a existência de defeitos em equipamentos de calibração;
- Verificar diferenças de performance depois de uma reparação ou atualização de um equipamento de medição.
- Estabelecer a curva de desempenho de um instrumento de medição;

2.8.4.5 SM replicáveis - MSA por variável e atributo

O MSA pode ser aplicado em SM compostos por meios de medição cujos resultados podem ser dados contínuos ou discretos, ou seja o resultado da medição é uma variável (peso, diâmetro, viscosidade, etc) ou um atributo (OK ou NOK). Nesta seção serão apresentados os métodos analíticos de análise dos dados obtidos em cada tipo de SM.

2.8.4.5.1 MSA por variável

Os SM de medição por variável produzem resultados do tipo contínuos que são usados para aferir quantitativamente o valor de uma dada característica considerada crítica para a qualidade. Os conceitos de estabilidade, tendência e linearidade explicados na secção 2.8.4.1 deste documento, podem ser aplicados neste tipo de SM para identificar o comportamento e quantificar o contributo de vários elementos de um SM, para a variação total através dos dados obtidos. De seguida serão apresentadas linhas orientadoras para realizar uma análise dos vários conceitos referidos anteriormente.

2.8.4.5.1.1 Linhas orientadoras para a determinação da estabilidade

- Recolher uma amostra e determinar o seu valor de referência, através da realização de 10 medições num laboratório de metrologia, em relação a um padrão rastreável e calcular a média dos valores;
- Periodicamente, diariamente ou semanalmente, medir a peça 3 a 5 vezes;
- O tamanho e frequência da amostra deve ser definido com base no conhecimento do SM;
- Organizar os dados em cartas de controlo $\bar{X} - R$ ou $\bar{X} - s$;
- Estabelecer os limites de controlo e avaliar os pontos fora de controlo, caso existam;
- Calcular o desvio padrão e comparar com o do processo;

2.8.4.5.1.2 Linhas orientadoras para a determinação da tendência

- Recolher uma amostra e determinar o seu valor de referência através da realização de pelo menos 10 medições num laboratório de metrologia ou em relação a um padrão rastreável e calcular a média dos valores. Este valor será o valor de referência;
- Um avaliador realiza pelo menos 10 medições com o método usual;
- Determinar a tendência para cada valor recolhido (x_i), através da equação:

$$tendência_i = x_i - \text{valor de referência}$$

Equação 10

- Realizar um histograma com os dados recolhidos no ponto anterior;
- Calcular a tendência média de n medições;

$$m\acute{e}dia\ tend\^encia = \frac{\sum_{i=1}^n tend\^encia_i}{n}$$

Equação 11

- Calcular o desvio padrão da repetibilidade

$$\sigma_{repetibilidade} = \sigma_r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Equação 12

- Determinar se a repetibilidade é aceitável através de:

$$\%EV = 100 \left[\frac{EV}{TV} \right] = 100 \left[\frac{\sigma_r}{TV} \right]$$

Equação 13

Onde, EV é a variação do equipamento e TV a variação total.

- Calcular a distribuição *t* de Student para a tendência

$$\sigma_b = \frac{\sigma_r}{\sqrt{n}}$$

Equação 14

Onde, σ_b é o valor da incerteza para a tendência.

$$distribuição\ t = t_{tend\^encia} = m\acute{e}dia\ da\ tend\^encia / \sigma_b$$

Equação 15

- A tendência é aceitável ao nível α se:
 - O *p-value* associado a $t_{tend\^encia}$ é inferior a um valor de α de 0,05;
 - O zero está incluído no $1 - \alpha$ intervalo de confiança baseado no valor da tendência:

$$tend\^encia - \left[\sigma_b \left(t_{v, 1 - \frac{\alpha}{2}} \right) \right] \leq 0 \leq tend\^encia + \left[\sigma_b \left(t_{v, 1 - \frac{\alpha}{2}} \right) \right]$$

Equação 16

Onde,

$$v = n - 1$$

Equação 17

e

$$t_{v, 1 - \frac{\alpha}{2}}$$

Equação 18

O valor de $t_{v, 1 - \frac{\alpha}{2}}$ é calculado usando a tabela padrão para a distribuição *t*, ver anexo G.

Nota: É recomendável a realização de pelo menos 30 medições.

2.8.4.5.1.3 Linhas orientadoras para a determinação da Linearidade

A linearidade avalia a variação da tendência para diferentes valores de referência (i) na faixa de operação de um dispositivo. Esta é avaliada através da inclinação de uma reta formada pelos diferentes valores de referência em relação à respetiva tendência. A inclinação a reta dita a qualidade do SM, quanto menor a inclinação melhor a qualidade do SM, a figura 18 representa um exemplo (Portal Action, 2017).

- Selecionar pelo menos 5 peças que cubram a faixa de operação do dispositivo de medição; O número de peças é representado pela letra g ;
- Confirmar a abrangência da faixa de operação dos valores obtidos;
- Medir cada parte $m \geq 10$ vezes, por um avaliador que normalmente opera o instrumento de medição.
- Calcular a tendência para cada medição e a tendência média para cada peça.

$$tendência_{i,j} = x_{i,j} - (valor\ de\ referência)_i$$

Equação 19

$$\overline{tendência}_i = \frac{\sum_{j=1}^m tendência_{i,j}}{m}$$

Equação 20

Onde,

m é o número de medições efetuadas.

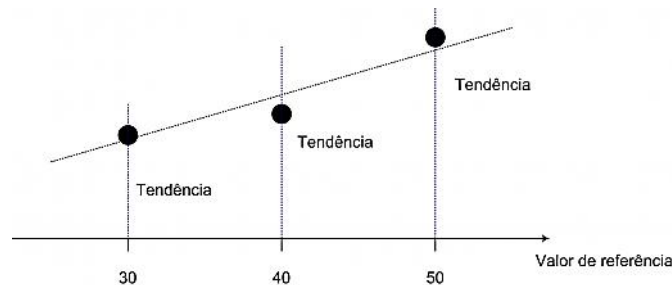


Figura 18 - Exemplar gráfico de um estufo de linearidade, retirado de Portal Action (2017)

- Desenhar um gráfico linear do calculado anteriormente comparando com os valores de referência, a figura 18 ilustra um exemplo;
- Calcular e desenhar um gráfico da reta de ajuste que mais se ajust2 e o intervalo de confiança.

$$\bar{y}_i = ax_i + b$$

Equação 21

Onde,

\bar{y}_i é a média da tendência

x_i é o valor de referência

$$a = \frac{\sum xy - \left(\frac{1}{gm} \sum x \sum y\right)}{\sum x^2 - \frac{1}{gm} (\sum x)^2} = declive$$

Equação 22

$$b = \bar{y} - a\bar{x} = \text{interseção}$$

Equação 23

Par um dado x_0 , o α limite de confiança:

$$\text{Onde } s = \sqrt{\frac{\sum y_i^2 - b \sum y_i - a \sum x_i y_i}{gm-2}}$$

Equação 23

Inferior:

$$b + ax_0 - \left[t_{gm-2, 1-\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{\frac{1}{2}} \times s \right]$$

Equação 24

Superior:

$$b + ax_0 + \left[t_{gm-2, 1-\frac{\alpha}{2}} \left(\frac{1}{gm} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \right)^{\frac{1}{2}} \times s \right]$$

Equação 25

- Calcular o desvio padrão da variabilidade da repetibilidade

$$\sigma_{\text{repetibilidade}} = s$$

Equação 26

Verificar se a repetibilidade é aceitável

$$\%EV = 100 \left[\frac{EV}{TV} \right] = 100 \left[\frac{\sigma_{\text{repetibilidade}}}{TV} \right]$$

Equação 27

Se $\%EV$ é elevada, então a variabilidade do SM é inaceitável. Caso o anterior verifique-se então continuar com a análise irá levar a resultados confusos.

- Realizar o gráfico para a linha tendência=zero e analisar o gráfico de modo a identificar causas especiais e aceitação da linearidade, ou seja a linha tendência=zero deve recair dentro dos limites do intervalo de confiança.

2.8.4.5.1.4 Linhas orientadoras para determinar a Repetibilidade e Reprodutibilidade

Os estudos GRR, em que são usados meios de medição por variável, ou seja produzem dados contínuos, podem ser realizados através de vários métodos. Estes ignoram a variação dentro da peça, e admitem o pré-requisito de estabilidade estatística. A ANOVA é o método mais recomendado, para a determinação do contributo para a variação total do SM devido à falta de repetibilidade e reprodutibilidade, uma vez que é o mais completo e flexível (Rainho, 2016).

2.8.4.5.1.5 Método da Amplitude – Método R

O método R apenas fornece uma figura global do sistema de medição, o seu resultado fornece uma aproximação rápida da variação da medição. Este não permite uma análise isolada do componente reprodutibilidade e/ou repetibilidade. Esta abordagem pode ser usada para identificar sem grande esforço SM inaceitáveis, com uma eficácia de 80% usando apenas uma amostra com 5 peças e de 90% usando uma amostra de 10 peças. A configuração padrão deste método inclui dois avaliadores, cinco peças que são medidas por ambos os avaliadores apenas uma vez.

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{g}$$

Equação 28

Onde,

\bar{R} é a amplitude média, obtida através do quociente entre o somatório da diferença entre os resultados das medições realizadas por dois operadores diferentes na mesma peça e g=número de peças.

$$GRR = \left(\frac{\bar{R}}{d_2^*} \right)$$

Equação 29

Onde, o valor de d_2^* pode ser encontrado no anexo F, usando o valor 2 para a variável m usada no cálculo de d_2^* .

$$\%GRR = 100 \times \left(\frac{GRR}{\text{Desvio padrão do processo}} \right)$$

Equação 30

Após o cálculo do valor de %GRR e com base na tabela 5 é possível avaliar a adequação do SM. Este valor serve de critério de aceitação de um SM.

2.8.4.5.1.6 Método da Média e da Amplitude – Método \bar{X} & R

O Método \bar{X} & R permite realizar uma estimativa da repetibilidade e reprodutibilidade de um SM, tornando-o mais completo que o método da amplitude. O método R, não tem em conta a interação avaliador-peça/avaliador-instrumento de medida.

Linhas orientadoras para desenvolver o estudo

- Recolher uma amostra $n \geq 10$ peças que representem a extensão atual ou esperada da variação do processo;
- Nomear os avaliadores A, B, C, etc e numerar as peças de 1 a n de modo que a numeração não seja visível para os avaliadores;
- Proceder à calibração do instrumento de medição se for um procedimento normal no SM. O avaliador A deve medir n peças de ordem aleatória e registar os valores;
- Os avaliadores B e C devem medir n peças e registar os valores obtidos sem ter acesso aos valores de ambos;
- Repetir o ciclo usando uma ordem aleatória diferente;
- Um método alternativo pode ser usar avaliadores de turnos diferentes. Se assim for o avaliador A mede todas as n peças e regista todos os valores na linha 1. De seguida o mesmo avaliador mede as peças com uma ordem diferente e regista nas linhas 2 e 3; E assim sucessivamente com os avaliadores B e C.

2.8.4.5.1.7 GRR – Método médias e amplitudes

Down et al. (2010) propõe uma folha para recolha de dados para determinar o GRR que serve como método para a análise dos dados recolhidos. Esta permite estimar a variação e percentagem de variação do processo para o sistema de medição total e os seus componentes repetibilidade, reprodutibilidade e variação das peças. O resultado desta análise deve ser comparado com os resultados da análise gráfica. Esta folha pode ser encontrada no anexo B.

Repetibilidade – EV (Variação do Equipamento)

$$EV = \bar{R} \times K_1$$

Equação 31

Onde $K_1 = \frac{1}{d_2^*}$, o valor de d_2^* é dependente do nº de ensaios (m) e do número de peças vezes o nº de avaliadores (g).

$$\%EV = 100 \left(\frac{EV}{TV} \right)$$

Equação 32

Reprodutibilidade – AV (Variação do Avaliador)

$$AV = \sqrt{(X_{DIFF} \times K_2)^2 - \left(\frac{EV^2}{(nr)} \right)}$$

Equação 33

Onde

X_{DIFF} é a diferença máxima entre as médias dos avaliadores

n – nº de peças

r – nº de ensaios

$K_2 - \frac{1}{d_2^*}$, O valor de d_2^* é dependente do nº de avaliadores (m) e $g = 1$.

$$\%AV = 100 \left(\frac{AV}{TV} \right)$$

Equação 34

Reprodutibilidade x Repetibilidade – GRR

$$GRR = \sqrt{(EV)^2 + (AV)^2}$$

Equação 35

$$\%GRR = 100 \left(\frac{GRR}{TV} \right)$$

Equação 36

Variação peça a peça – PV (*part-to-part Variation*)

$$PV = R_p \times K_3$$

Equação 37

Onde

R_p é a amplitude máxima das médias das peças

K_3 é uma constante que depende do número de peças usadas no estudo e é o inverso do valor de d_2^* , Sendo que d_2^* depende do número de peças (m) e (g). O valor de g diz respeito ao número de amplitudes calculadas.

$$\%PV = 100 \left(\frac{PV}{TV} \right)$$

Equação 38

Variação Total

$$TV = \sqrt{(GRR)^2 + (PV)^2}$$

Equação 39

$$ndc = 1.41 \left(\frac{PV}{GRR} \right)$$

Equação 40

Onde, o número de categorias distintas (ndc), é a capacidade de um SM para detetar uma diferença numa característica medida. O ndc também representa o número de grupos dentro dos dados obtidos numa medição, que um SM é capaz de distinguir.

2.8.4.5.1.8 ANOVA

É uma técnica estatística que permite a comparação entre parâmetros de mais do que duas populações. Esta pode ser usada para analisar o erro do SM ou outras fontes de variabilidade dos dados recolhidos. Exige a verificação dos seguintes pressupostos: Normalidade, homogeneidade de variância e independência. Down et al. (2010) O ANOVA tem uma aplicação mais completa uma vez que é possível medir a interação avaliador-peça, bem como de outras fontes de variação, Down et al. (2010). A variação pode ser decomposta em peças, avaliadores, interação entre avaliador-peça e erro de replicação devido ao instrumento de medição. Apesar de ser capaz de realizar uma avaliação mais completa que o método \bar{X} & R, exige cálculos numéricos mais complexos e um maior grau de conhecimento estatístico na interpretação dos resultados, Rainho (2016).

2.8.4.5.2 MSA por atributo

Os SM por atributo são uma classe de SM onde o resultado da medição é um de número finito de categorias. Os meios de medição usados têm dois resultados possíveis: Passa ou Não Passa (P/NP), ou seja o operador ou aprova ou rejeita a peça. Existem outros SM, por exemplo as inspeções visuais onde os resultados podem resultar em 5 (ou 7 categorias): muito bom, bom, razoável, mau e muito mau. Os estudos a SM por atributo, não recorrem a valores de referência. Apenas avaliam o risco de um operador classificar erradamente ou inconscientemente uma peça, Down et al. (2010).

Os resultados de um estudo ao SM dependem muito da forma como são selecionadas as peças e do número de ensaios realizados sobre cada uma (repetições). Estes avaliam a tendência e a repetibilidade/reprodutibilidade. Uma vez que este tipo de estudo tem associado um risco maior de decisão incorreta quando as peças estão junto aos limites de especificação ou às fronteiras das categorias, a análise mais apropriada é a da quantificação da variação do SM através da “*Gage Performance Curve*” (GPC). Esta curva determina a probabilidade de aceitar ou rejeitar uma peça com um determinado valor de referência, (Rainho, 2016).

Métodos de análise de risco

Nos SM por atributo, muitas vezes não é prático recolher peças com valores de referência variáveis, nesses casos o risco deve ser avaliado com auxílio dos métodos Teste de hipóteses e Teoria da deteção do sinal. Sendo que estes métodos apenas devem ser usados com o consentimento do cliente uma vez que não quantificam a variabilidade do SM.

2.8.4.5.2.1 Gage Performance Curve

A GPC é usada para determinar a probabilidade do resultado da operação de inspeção de uma dada peça ser OK ou NOK. Uma vez que o erro esteja determinado, é possível calcular a probabilidade de validar uma peça usando um determinado SM. Para poder aplicar este método é necessário recolher peças, quantificar valores (dados contínuos) de

referência para essa característica, limites de especificação e a capacidade do SM por variável.

Para calcular a probabilidade de aceitação da peça, equação 42, é necessário partir de alguns pressupostos: o erro do SM deve-se à falta de repetibilidade, reprodutibilidade e tendência. A repetibilidade e reprodutibilidade seguem uma distribuição normal, com variância σ^2 . O erro do equipamento segue uma distribuição normal com média X_T , sendo este o valor de referência, conforme a equação 41. Onde b é o valor da tendência e σ^2 a variância.

$$\text{Valor real do instrumento de medição} = N(X_T + b, \sigma^2)$$

Equação 41

$$P_a = \int_{LI}^{LS} N(X_T + b, \sigma^2) dx$$

Equação 42

2.8.4.5.2.2 Método Analítico

O método analítico tem por base o conceito de GPC e permite determinar a tendência e a repetibilidade.

Linhas orientadoras para conduzir o estudo

- Selecionar 8 peças da produção em intervalos equidistantes, quanto possível, em termos dos seus valores de referência. O valor máximo e mínimo devem representar a gama do processo;
- Medir as peças em um SM de referência, por exemplo em um laboratório de metrologia, de modo a quantificar o valor numa escala contínua a característica da qualidade a medir;
- As mesmas peças são avaliadas com um instrumento de medição P/NP 20 vezes, m , e o número de aceitações, a , é registado;
- No final do estudo:
 - A peça com o valor de referência menor deve ter $a = 0$;
 - A peça com o valor de referência maior deve ter $a = 20$;
 - As restantes 6 peças devem ter $1 \leq a \leq 19$;
- Após avaliar as 8 peças, os critérios do ponto anterior têm que verificar-se, caso contrário o processo deve ser repetido até este ponto, se verificarem os critérios;
- Calcular a P_a (probabilidade de aceitação de uma peça) de acordo com a equação 42;
- Traçar a GPC;
- Calcular a tendência, através da diferença entre o limite inferior de especificação, LIE, e o valor da probabilidade de aceitação para o valor de referência correspondente a $P'_a = 0,5$;

$$\text{tendência} = LIE - P'_a \text{ (para } X_T = 0,5)$$

Equação 43

Onde,

X_T é o valor de referência, calculado em um SM por variável para a peça T .

- Calcular a repetibilidade:

$$R = \frac{X_T (em P'_a = 0.995) - X_T (em P'_a = 0.005)}{1.08}$$

Equação 44

Nota: O fator de ajustamento 1.08 é específico para uma amostra de tamanho 20.

- Determinar se a tendência é significativamente diferente de zero.

$$t = \frac{6.078 \times |tendência|}{\sigma_{repetibilidade}}$$

Equação 45

$$\sigma_{repetibilidade} = \frac{R}{5.15}$$

Equação 46

Se o valor do cálculo anterior for superior a 2.093 ($t_{0,025,19}$), Então a tendência é significativamente diferente de zero; O valor 5.15 é usado por convenção uma vez que corresponde a uma curva normal com extensão de 99%.

2.8.4.5.2.3 Teste de hipóteses - Método das Tabelas Cruzadas

O Método das Tabelas Cruzadas analisa a distribuição dos dados para uma ou mais variáveis qualitativas. Os resultados são apresentados em forma de matriz formando uma tabela de contingência que ilustra a interdependência entre as variáveis.

Linhas orientadoras para conduzir o estudo

- Medir 50 peças em um SM de referência, por exemplo em um laboratório de metrologia, de modo a quantificar o valor numa escala contínua da característica da qualidade a medir e através de um SM por atributo; Deste modo obtém-se os valores de referência para cada peça de forma discreta e contínua;
- Medir 50 peças, 3 vezes por 3 avaliadores através de um SM por atributo e colocar o resultado em uma tabela com o código 1 ou 0 caso o resultado seja P ou NP, respetivamente.
- Calcular para cada avaliador o somatório de aprovações e rejeições de cada avaliador;
- Contruir tabelas com os resultados das medições para cada dupla de avaliadores, A*B, A*C, B*C, conforme abaixo representado na tabela 6.

Tabela 5 – Tabela para resumo dos dados modelo – operador A*B, adaptado de (Down et al., 2010)

		Operador B		Total
		0	1	
Operador A	0	O_{00}	O_{01}	a_0
	1	O_{10}	O_{11}	a_1
Total		b_0	b_1	n

Onde:

1:peça aprovada;

0: peça rejeitada;

O_{11} : número de classificações aprovadas para o avaliador A e aprovadas pelo avaliador B;

O_{10} : número de classificações aprovadas para o avaliador A e rejeitadas pelo avaliador B;

O_{01} : número de classificações rejeitadas para o avaliador A e aprovadas pelo avaliador B;

O_{00} : número de classificações rejeitadas pelo avaliador A e rejeitadas pelo avaliador B;

a_1 : total de aprovações do avaliador A;

a_0 : total de rejeições do avaliador A;

b_0 : total de aprovações do avaliador B;

b_1 : total de rejeições do avaliador B;

n : total de medições por avaliador;

- Calcular as proporções observadas:

Tabela 6 - Tabela auxiliar para o cálculo das proporções observadas, adaptado de (Down et al., 2010)

		Operador B		Total
		0	1	
Operador A	0	$P_{00} = \frac{O_{00}}{n}$	$P_{01} = \frac{O_{01}}{n}$	$PA_0 = \frac{a_0}{n}$
	1	$P_{10} = \frac{O_{10}}{n}$	$P_{11} = \frac{O_{11}}{n}$	$PA_1 = \frac{a_1}{n}$
Total		$PB_0 = \frac{b_0}{n}$	$PB_1 = \frac{b_1}{n}$	1

- Calcular as proporções esperadas:

Tabela 7 – Tabela e fórmulas para cálculo das proporções esperadas

		Operador B		Total
		0	1	
Operador A	0	$E_{00} = PA_0 \times PB_0$	$E_{01} = PA_0 \times PB_1$	Somar linha
	1	$E_{10} = PA_1 \times PB_0$	$E_{11} = PA_1 \times PB_1$	Somar linha
Total		Somar coluna	Somar coluna	1

- Calcular o coeficiente *Kappa* com base nos valores obtidos na tabela 7 e 8 e usando a equação 47. Este coeficiente mede a concordância entre 2 avaliadores quando ambos avaliam o mesmo objeto;

Se o valor de *Kappa* for igual a 1, significa que existe concordância perfeita entre os avaliadores, mas não implica que as decisões por eles tomadas sejam corretas; Se *Kappa* < 0.75 não existe boa concordância entre os avaliadores. Valores inferiores a 0.40 indicam fraca concordância.

$$Kappa = \frac{(P_{00} + P_{11}) - (E_{00} + E_{11})}{1 - (E_{00} + E_{11})}$$

Equação 47

- Reunir um grupo novo de tabelas cruzadas comparando cada avaliador com um especialista;
- Calcular o coeficiente *Kappa* para determinar a concordância de cada avaliador com um especialista;
- Calcular a eficácia do SM ou taxa de concordância:

$$Eficácia = \frac{n^{\circ} \text{ de peças com medições concordantes com o sistema de referência}}{n^{\circ} \text{ total de peças}}$$

Equação 48

A eficácia mede a probabilidade do avaliador classificar uma peça da mesma forma que um sistema de referência e/ou a coerência entre resultados obtidos para a mesma peça pelo menos operador. Esta deve ser verificada para:

- Cada avaliador relativamente ao próprio;
- Cada avaliador relativamente a um SME ou a um Padrão;
- Entre todos os avaliadores;
- Entre todos os avaliadores e o especialista ou padrão certificado;
- Realizar vários testes de hipóteses onde H_0 é definido como: A eficácia (ou taxa de concordância) entre avaliadores é a mesma. Estes servem para validar as conclusões retiradas através do coeficiente Kappa.
- Calcular a “Taxa de falha” e “Taxa de falso alarme”;

$$\text{Taxa de falha} = \frac{\text{Total de medições aprovadas pelo avaliador e reprovadas pelo sistema de referência}}{\text{total medições que o sistema de referência considera reprovada}}$$

Equação 49

$$\text{Taxa de falso alarme} = \frac{\text{Total de medições reprovadas pelo avaliador e aprovada pelo sistema de referência}}{\text{total medições que o sistema de referência considera aprovada}}$$

Equação 50

O sistema de referência pode ser um especialista ou um padrão certificado.

- Comparar os valores da eficácia, taxa de falha e taxa de falso alarme, obtidos para cada avaliador, com os critérios da tabela 9.

Tabela 8 - Critério de aceitação para um SM, adaptado de (Down et al., 2010)

Decisão do SM	Eficácia	Taxa de Falha	Taxa de falso alarme
Aceitável	≥ 90	≤ 2	≤ 5
Razoável para o avaliador - pode ser melhorado	≥ 80	< 5	≤ 5
Inaceitável para o avaliador – obrigatório aplicar melhoria	$< 80\%$	$> 5\%$	$> 10\%$

2.8.4.5.2.4 Teoria da detecção do Sinal

A Teoria da detecção do Sinal é um método alternativo para estimar a largura da Zona II, representada na figura 13, e a partir daí o valor de GRR do SM. Este método requer que cada uma das peças seja avaliada por um SM por variável.

Linhas orientadoras para conduzir o estudo

- Medir as peças num SM de referência, por exemplo num laboratório de metrologia, de modo a quantificar o valor numa escala contínua da característica da qualidade a medir e através de um SM por atributo;
- Determinar a tolerância através dos limites de especificação;

$$\text{Tolerância} = LSE - LIE$$

Equação 51

Após o cálculo da tolerância e o valor do índice de performance do processo (P_{pk}) for conhecido, comparar estes valores e seguir a seguinte as regras abaixo descritas:

- Se $P_{pk} > 1$, comparar o SM com o processo;
- Se $P_{pk} < 1$, comparar o SM com a tolerância;

Estas regras têm como objetivo verificar se o valor de GRR será calculado com base na tolerância ou na especificação.

- Ordenar os dados por ordem decrescente com base nos valores de referência das peças;

- Identificar o ponto final e inicial das duas zonas cinza, referenciadas neste documento como zonas II, junto aos limites de especificação, como ilustrado na figura 19 pelos valores com o valor + e - que estão imediatamente fora da zona cinza. O objetivo é calcular a amplitude dessas zonas e com estas obter a amplitude média que será comparada com a tolerância ou 6σ da variação do processo. A tabela 11 resume o significado dos sinais e significados do resultado da avaliação de cada peça.

Ref Value	Code	Ref Value	Code
0.599581	-	0.503091	+
0.587893	-	0.502436	+
0.576459	-	0.502295	+
0.570360	-	0.501132	+
0.566575	-	0.498698	+
0.566152	-	0.493441	+
0.561457	x	0.488905	+
0.559918	x	0.488184	+
0.547204	x	0.487613	+
0.545604	x	0.486379	+
0.544951	x	0.484167	+
0.543077	x	0.483803	+
0.542704	+	0.477236	+
0.531939	+	0.476901	+
0.529065	+	0.470832	+
0.523754	+	0.465454	x
0.521642	+	0.462410	x
0.520496	+	0.454518	x
0.519694	+	0.452310	x
0.517377	+	0.449696	x
0.515573	+	0.446697	-
0.514192	+	0.437817	-
0.513779	+	0.427687	-
0.509015	+	0.412453	-
0.505850	+	0.409238	-

Figura 19 - Identificação das zonas cinza, adaptado de (Down et al., 2010)

Tabela 9 - Sinais e significados do resultado da avaliação de cada peça, adaptado de (Down et al., 2010)

Sinal	Descrição
+	Aceite com concordância total
-	Rejeitado com concordância total
x	Discordância

- Calcular d_{LSE} , ou seja a distância entre a ultima peça aceite por todos os avaliadores e a primeira peça rejeitada por todos. Este valor é equivalente à zona cinza em redor do LSE, conforme ilustrado na figura 20 por d_{USL} ;

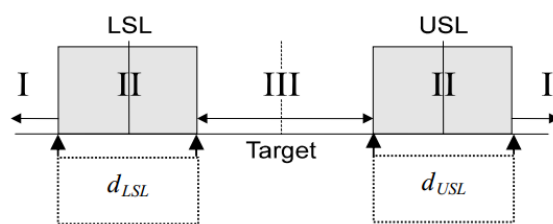


Figura 20 - Gráfico auxiliar para compressão do cálculo do d_{LSE} e do d_{LIE} , adaptado de (Down et al., 2010)

- Calcular d_{LIE} , ou seja a distância entre a última peça aceite por todos os avaliadores na zona III e a primeira peça rejeitada por todos na zona I. Este valor é equivalente à zona cinza em redor do LIE;
 - Calcular a distância média das distâncias calculadas anteriormente; Seja d_i , a distância entre a última peça aceite por todos os avaliadores e a primeira peça rejeitada por todos, para ambos os limites de especificação; Então, d =média, é uma estimativa da largura da área da região II, identificada na seção 2.8.4.3 deste documento, sendo este uma aproximação do valor de %GRR;

Tabela 10 - Decisões padrão dos avaliadores num SM por atributo

Zona	Descrição
I	Rejeitado com concordância total entre avaliadores
III	Aceite com concordância total entre avaliadores
II	Sem concordância total entre avaliadores

Independentemente do método utilizado para avaliar o SM por atributo, devem participar pelo menos 2 avaliadores que costumam realizar as medições em questão e 1 especialista. O papel do especialista é avaliar as peças como OK ou NOK, para ser usado como referência. O número mínimo de peças é 30 e devem representar a gama de variação do processo (peças OK, defeituosas para sucata ou retrabalho, etc). As peças em relação aos limites de especificação devem encontrar-se 25% próximas do limite superior e 25% do inferior.

2.8.4.6 Critérios de Aprovação do SM

Após a obtenção de um valor para o GRR é possível identificar a qualidade do mesmo, bem como verificar quais as alterações ou melhorias a aplicar no SM. A tabela 5 serve como base de aceitação do SM.

Tabela 11 - Critérios de aprovação do SM, adaptado de (Down et al., 2010)

GRR	Decisão	Observações
Abaixo de 10%	SM geralmente considerado aceitável	Recomendado, especialmente útil quando tentamos ordenar ou classificar peças. Para processos onde seja necessário um controle apertado do processo.
10% - 30%	Pode ser aceitável para algumas aplicações	A decisão deve ser baseada primeiro, por exemplo, na importância da aplicação da medição, custo do dispositivo de medição ou custo do retrabalho O SM deve ser aprovado pelo cliente.
Acima de 30%	Considerado inaceitável	Devem ser realizados esforços para melhorar o SM. Utilizar a média de diversas medições da mesma característica da mesma peça a fim de reduzir a variabilidade da medida final.

2.8.5 SIPOC

O SIPOC é um diagrama usado para caracterizar os fornecedores (S), os inputs (I), os processos (P), os outputs (O) e os clientes (C). É uma das ferramentas da metodologia Seis-Sigma mais usada na fase D (define) fornecendo uma visão geral do processo, (Werkema, 2013). A figura 21 ilustra um exemplo.

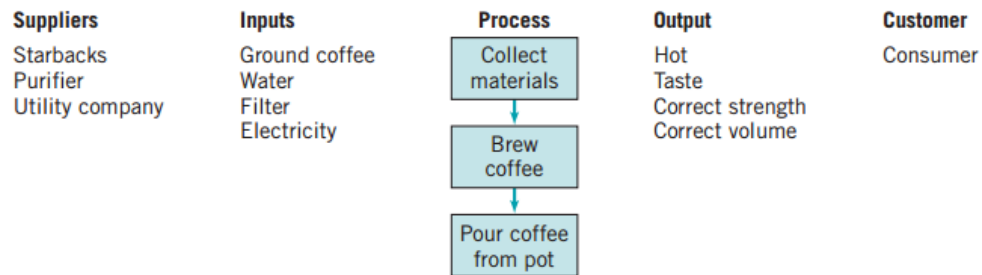


Figura 21 - Exemplo de um diagrama SIPOC, Montgomery (1996)

2.8.6 Diagrama de Pareto

O diagrama de pareto é uma ferramenta usada para definir a prioridade de atuação, em situações da existência de vários problemas para resolver, a figura 22 ilustra um exemplo. É uma forma gráfica, em que frequências das ocorrências são ordenadas da maior para a menor e onde são sobrepostas as percentagens acumuladas. É utilizado para dados qualitativos e permite de uma forma fácil visualizar e identificar as causas ou problemas mais importantes (*Portal Action*, 2017).

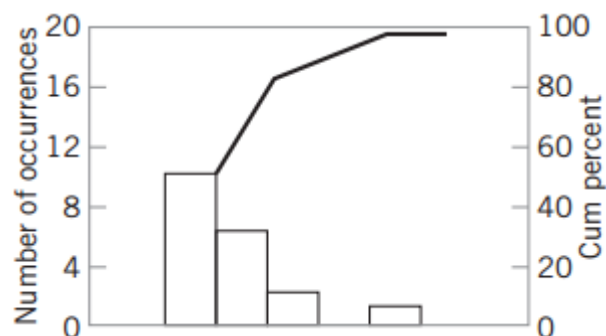


Figura 22 - Exemplo de um diagrama de pareto, Montgomery (1996)

2.8.7 Simulação

Garantia da Qualidade e otimização do *layout* fabril através de Simulação

O *layout* de uma fábrica define a qualidade do fluxo de trabalho e informação do processo produtivo. Através da avaliação e estudo deste as organizações podem alcançar elevados benefícios em termos de produtividade e eficiência, reduzindo por exemplo movimentações desnecessárias de bens e operadores através das várias operações de transformação. Este desperdício pode ser resultado de *layouts* inapropriados e pode ser resolvido através da otimização do layout (Rajbir Bhatti et al. 2014). Através da alteração de *layout* é possível aumentar a eficiência de todos os recursos envolvidos no processo produtivo.

Subramaniam et al., (2009) defendem que “a eficiência das linhas de produção industriais é crucial e resulta na melhoria do *output* e utilização dos recursos disponíveis. Os fatores que contribuem para a eficiência de uma linha produtiva são a utilização do capital humano e a eficiência das máquinas”. Uma das formas de otimizar o capital humano é através da redução do tempo gasto no trabalho auxiliar, que é trabalho que é necessário ser realizado mas não acrescenta valor ao produto, como por exemplo a operação de inspeção Monden, (1998). A performance do capital humano é muito variável, depende das capacidades dos operadores e do tempo que estão a desempenhar uma tarefa. Uma elevada percentagem de operadores têm um padrão no que diz respeito à velocidade média com que efetuam as suas tarefas. Normalmente não trabalham à velocidade máxima e as operações menos desejadas irão contribuir para cenários em que a performance dos operadores diminui, afetando o *output*. As operações relacionadas com a inspeção são frequentemente vistas como menos importantes pelos operadores. Desta forma, estes tendem a ver os produtos com defeito, não como desperdício de tempo e recursos, mas como um esforço pessoal adicional que é preciso realizar para atingir a produção planeada. Através da simplificação da operação de inspeção as organizações podem reduzir a aversão que os operadores tendem a ter a estas tarefas, e maximizar o tempo em que estes são produtivos, (Husin et al. 2009).

Namphacharoen et al., (2008) conduziram um estudo de simulação para realizar uma alteração de *layout*, os autores começaram por fazer o layout físico conceptualmente e depois usaram um modelo de simulação para testar a performance dos recursos em vários cenários. A simulação é uma técnica que permite analisar e testar soluções antes de as implementar na realidade. Esta abordagem pode ser usada para reduzir a movimentação desnecessária de componentes durante uma alteração de *layout*. Atualmente existem vários métodos para desenho de *layouts* fabris: planeamento sistemático de *layouts*, algoritmos e simulação são alguns deles Watanapa et al., (2011). Banks et al., (2004) Sugere um conjunto de passos para o desenvolvimento de um estudo de simulação como pode ser visto na figura 15.

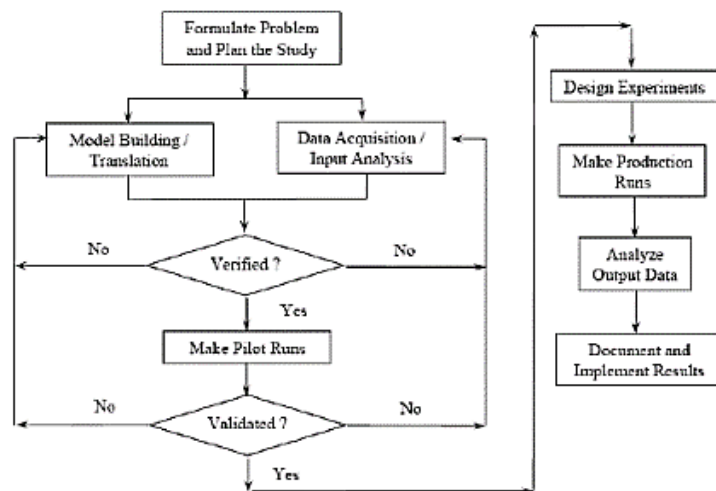


Figura 23- Passos para o desenvolvimento de um estudo de simulação (Banks et al., 2004)

2.8.8 MTM – Methods - Time Measurement

O MTM é um dos métodos de análise de trabalho que foram trazidos para os países industrializados em larga escala em 1930. Este foi desenvolvido nos Estados Unidos da América por Maynard (Laring et al., 2002). Os principais objetivos do MTM são o desenvolvimento de um sistema e método de trabalho, determinar o tempo despendido por um colaborador experiente a realizar uma tarefa a um ritmo normal, formar colaboradores em relação ao método a executar e por fim a sua padronização, Maynard, 1977, Meyers, 1999 e Barnes, 2013. A figura 16 ilustra os vários métodos de análise de trabalho e a forma de obtenção de dados. Estes podem ser obtidos de forma direta, indireta ou combinada.

A metodologia MTM tem várias aplicações:

- Análise de carga de trabalho ergonómico (Laring, Forsman, Kadefors e Örtengren, 2002);
- Desenho de novas células fabris (Sugai, Lobo, Novaski e Lima, 2003);
- Avaliações ergonómicas (Törnström, Amprazis, Christmansson e Eklund, 2008);
- Simulação de movimentos humanos e tempos pré-determinados (Kuo & Wang, 2009);
- Redução do *lead-time* (Kuhlang, Edtmayr e Sihh, 2011)
- Balanceamento de linhas de produção (Oliveira; Bento Da Silva e Helleno, 2011);
- Definição do tempo com base em movimentos em um posto de trabalho (Cho e Park, 2014);

O MTM é focado no movimento do corpo, e a unidade de medida usada é o TMU, acrónimo do inglês *time measurement unit*. Um TMU são 0.036s. O MTM é uma técnica difícil de aprender comparativamente com outros métodos semelhantes. Este analisa o método de trabalho com base em movimentos básicos: alcançar, mover, virar, aplicar força, posicionar, libertar e apertar. A aplicação do MTM permite a criação de processos mais transparentes, identificar oportunidades de melhoria na ótica da redução do custo associado a uma operação e documentar os métodos de trabalho. Através da quantificação do tempo total necessário para realizar uma tarefa é possível dimensionar a quantidade de pessoas necessárias para a realizar, bem como quantificar a capacidade de produção de um equipamento e/ou de uma linha de produção MTM (2005).

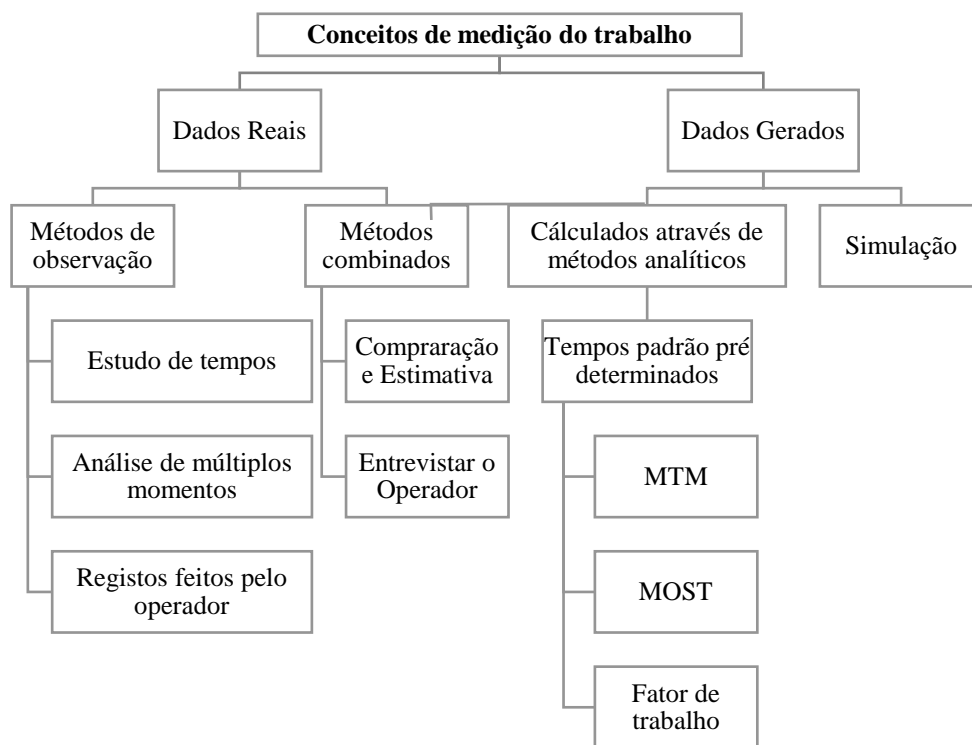


Figura 24 - Estrutura dos diferentes métodos analíticos para medição de trabalho (adaptado de Seifermann et al., 2014)

3. Aplicação do Caso de Estudo

Neste capítulo, é apresentada a empresa em que o projeto está inserido, a BTT, e uma análise dos processos produtivos objeto de estudo. É neste capítulo que é efetuada toda a análise ao problema em questão, partindo da definição dos objetivos do estudo, determinação o foco do problema, da determinação das suas causas, desenvolvimento de ações corretivas ou de melhoria e implementação/verificação da eficácia. Ou seja todas as etapas do DMAIC.

3.1 Apresentação da Empresa

O Grupo *Bosch* nasceu em 1886 através da fundação da “Oficina de Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica”, em Estugarda na Alemanha e teve como fundador *Robert Bosch*. Sob a designação de Vulcano Termodomésticos SA, a BTT iniciou a sua atividade em Cacia, Aveiro, no ano de 1977. Mais tarde em 1988, com a aquisição da maioria do capital pelo grupo Bosch, a fábrica da Vulcano, hoje designada Bosch Termotecnologia SA, passa a integrar uma divisão termo técnica da RB, que transfere para Portugal competências e equipamentos iniciando um processo de especialização dentro do grupo. Está sob a sua tutela a conceção e desenvolvimento de novos aparelhos bem como a sua fabricação e comercialização.

Atualmente está representada em Portugal pelos centros de desenvolvimento de Aveiro, Braga e Ovar e é um dos maiores empregadores em Portugal. Durante do ano de 2015 gerou um volume de negócios de 70,6 mil milhões de euros, estando este distribuído pelas áreas de Soluções de Mobilidade, Tecnologia Industrial, Bens de Consumo e Tecnologia de Energia e Edifícios, com recurso a 375.000 colaboradores.

O grupo está presente em 55 países e diferentes mercados, desde a Europa até ao continente Australiano. Atualmente a BTT produz uma variada gama de modelos que são comercializados internacionalmente por meio das marcas próprias do grupo (*Bosch, Buderus, Junkers, Leblanc, Vulcano*) ou de clientes. A BTT é hoje o centro de competências da RB para esquentadores, e é a responsável mundial pelo produto. (Bosch 2016)



Figura 25 - Edifício principal BTT, Aveiro

3.1.1 BTT – Aveiro - O Sistema de Medição na BTT

O departamento da qualidade da BTT tem definido no âmbito do BPS um conjunto de sistemáticas para implementar e manter os SM existentes na organização. O presente trabalho foi desenvolvido com o foco em dois desses SM. Entenda-se por SM, durante toda a aplicação do DMAIC neste documento, tudo o que está incluído em cada seção de fabrico e que está relacionado com a operação de inspeção. Fazem parte dos SM objeto os seguintes elementos:

- Peças;
- Operadores;
- Meios de medição;
- Planos de controlo e respetivas folhas de registo;
- Ambiente;
- Método ou instrução operacional;
- Meios auxiliares à operação de inspeção i.e., Postos de controlo.

Todos estes elementos compõem a sistemática implementada na BTT para a realização da operação de inspeção. Esta é assente no único documento onde estão definidas as diretrizes válidas e aceites pela organização para a garantia da qualidade, o PC, a figura 26 exemplifica um PC.

Um PC é um documento onde estão definidas as características críticas para a qualidade que devem ser alvo de inspeção. Antes de ser concretizado e implementado na produção, é realizado um FMEA. Um dos resultados desta análise são os PC. Nas sessões de FMEA são realizadas avaliações aos aspetos críticos para a qualidade de uma dada peça e definidas as ações de inspeção que serão realizadas mais tarde pelos operadores para identificar desvios face à especificação. A implementação e manutenção destas ações são da responsabilidade de um engenheiro de processo. Quando implementado na produção um PC é realizada uma formação operacional aos operadores acerca do método e dos meios de medição a utilizar. Os métodos de inspeção estão expostos nos postos de controlo sob a forma de instruções operacionais. A frequência com que um PC pode ser executado compreende os seguintes momentos: início de turno; entre um número definido de peças, i.e. de 10 em 10 peças; após uma manutenção de uma máquina ou troca de ferramentas. De um modo geral uma operação de inspeção na BTT inicia-se com a seleção de peças na produção, seguido da realização do procedimento definido no método de controlo, registo dos valores nas folhas de registo de PC e em caso de não conformidade o operador informa a equipa de suporte técnico para o desvio.

Matrix de Produtos:- este Plano de Controlo é aplicável para os seguintes produtos / Famílias de produto:

Família	TTNR	Família	TTNR	Família	TTNR	Família	TTNR

1ª página


 BOSCH		Protótipo <input type="checkbox"/> Pre-Lançamento <input type="checkbox"/> Produção <input checked="" type="checkbox"/>		TT-VAN087 - Plano de Controlo (CP)								Data revisão:		08/05/2017					
Fabrica	AvP			Descrição do produto				CP nº		Data (original):		15/10/2012							
Departamento				Referência / família				Revisão nº		Elaborado por:		J. Viveiros							
				Posto / Linha				IQFMEA nº											
Fluxograma de processo		Processo				Características						Garantia da Qualidade							
		Processo n°	Peça	Passo de teste / produção	FMEA (quando aplicável)	Máquina Ferramenta Dispositivo	Características do processo	Características do produto	Identificação de características especiais	Dispositivo de prevenção	Plano de manutenção (quando aplicável)	Capacidade máquina (quando aplicável)	Tolerâncias do processo / Produto	Equipamento de teste	Registo	Meio / Método Controlo	Amostra	Frequência	Plano de reacção para não conformidades
		Posto 191 Posto 178	xpto	Soldadura do Tubo extensivo	NA	Cabines de soldadura		Altura do tubo extensivo W2/W3 (Água Quente)	-	-	-	-	280 + 0.5 -0.5 mm	Graminho	RPC	Consultar a operacional 0069	1	Início de turno; Troca de Ref.	Informar o Responsável de Equipa
○ = Processo ◇ = Inspeção																			

Figura 26 - Exemplo de um PC, Bosch (2009)

3.2 Aplicação da Metodologia DMAIC

3.2.1 Etapa 1 – Definir

A primeira fase do projeto foi a de identificação e validação do projeto, seguido da realização do *project charter*, tabela 12, mapeamento do processo produtivo levantamento dos requisitos críticos para o cliente e a preparação da equipa de trabalho.

Tabela 12 - Project charter

Nome do projeto:	Aplicação da sistemática <i>DMAIC</i> para avaliação e melhoria do SM						
Caso de estudo	O projeto consiste na avaliação e melhoria do SM de duas secções da BTT. O projeto vai ser realizado para melhorar o desempenho e consequente resultado da operação de inspeção.						
Objetivo do projeto	Reduzir para 10% o valor de %GRR e aumentar a eficácia para valores superiores a 90% nos SM identificados como potenciais de melhoria até o final do projeto.						
Benefícios estimados (€)	N/A						
Descrição do projeto							
Objetivos do projeto	<ul style="list-style-type: none">- Avaliar o sistema de medição;- Reduzir do tempo associado à operação de inspeção;- Diminuir as deslocações dos colaboradores para efetuar à inspeção;- Aumentar a autonomia dos operadores em relação aos métodos e meios de inspeção;- Desenvolvimento de novos equipamentos de medição em caso de inexistência ou desadequação;						
Âmbito do projeto	Inserido nos 14 princípios da qualidade definidos no pilar da qualidade do BPS						
Recursos do Projeto							
Membros da equipa		Departamento		Papel no projeto		Tempo dedicado (h/semana)	
Rui Rodrigues		Produção		SME		3h	
Eva Castro		Produção		Coordenadora Sénior		2h	
João Viveiros		Produção		Lider de projeto		32h	
Diogo Costa		Produção		Suporte de engenharia		n.d	
Ana Matos		Produção		Suporte de engenharia		n.d	
João Carvalho		Produção		Suporte operacional		n.d	
Armando Santos		Produção		Suporte operacional		n.d	
Ricardo Vasconcelos		Produção		Responsável de Turno		n.d	
Elisabete Rebelo		Produção		Responsável de Turno		n.d	
Bruna Meles		Tempos e métodos		Suporte de ergonomia e tempos e métodos		n.d	
Miguel Simões		Lab. Metrologia		Suporte operacional		n.d	
Milestones do projeto							
	Início do projeto	Define	Measure	Analyse	Improve	Control	Fim do projeto
Planeamento inicial	27/09/2015	27/09/2015	05/04/2016	08/05/2016	29/05/2016	05/06/2016	17/06/2016

O *project charter* foi realizado sob a orientação do SME, Rui Rodrigues, sendo este o coordenador de todo o trabalho desenvolvido na BTT. O papel do SME nesta fase é crucial uma vez que a experiência acumulada permite identificar prazos exequíveis e detalhar algumas tarefas desde o levantamento da condição atual até ao desenho da condição futura. Nesta fase do projeto apesar de já terem sido incluídas tarefas de desenho de soluções o foco foi apenas sobre a definição do problema. A figura 18 ilustra um

cronograma preliminar do projeto, que foi sendo alterado ao longo do projeto de acordo com as necessidades.

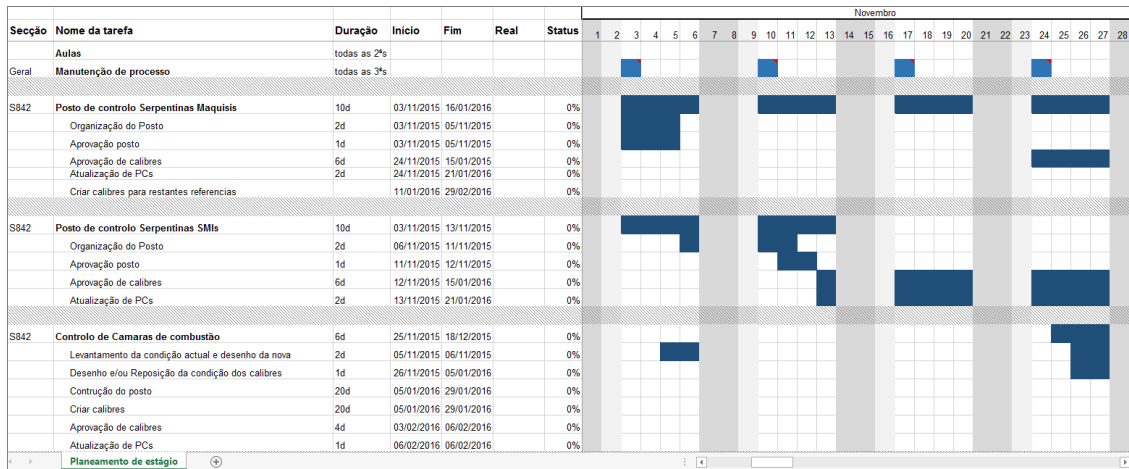


Figura 27 - Planeamento preliminar do projeto

Para além do *project charter* foi realizado um planeamento de atividades já previstas pelo SME, para o cumprimento dos objetivos do projeto.

Mapeamento do Processo - SIPOC

Para compreender o processo de fabrico de CC e tubos de cobre, realizou-se a análise de SIPOC para identificar os fornecedores, entradas (*inputs*), detalhar o processo, assim como visualizar as saídas (*outputs*) e os clientes. Os processos produtivos em estudo estão inseridos na seção da Brasagem da BTT, Aveiro. Esta dedica-se ao fabrico de entre outros produtos à construção de câmaras de combustão e de todos os componentes que a constituem, bem como da produção de tubos de cobre. A figura 28 exemplifica uma câmara de combustão e um tubo de cobre. A figura 29 representa a análise SIPOC do processo de fabrico de CC e a 31 o processo de tubos de cobre. As seções objeto do desenvolvimento deste trabalho são:

- Seção 842 - Câmaras de Combustão
- Seção 843 - Tubos de Cobre



Figura 28 - Exemplo de uma câmara de combustão e tubos de cobre

A análise SIPOC foi realizada segundo os seguintes passos:

1. Iniciou-se fim para o princípio;
2. Identificou-se primeiro os clientes de depois os *outputs*;
3. Identificou-se o início e fim do processo;
 - Detalhou-se os passos do processo através de um *Brainstorming* rápido;
4. Por fim definiu-se os *inputs* e fornecedores;

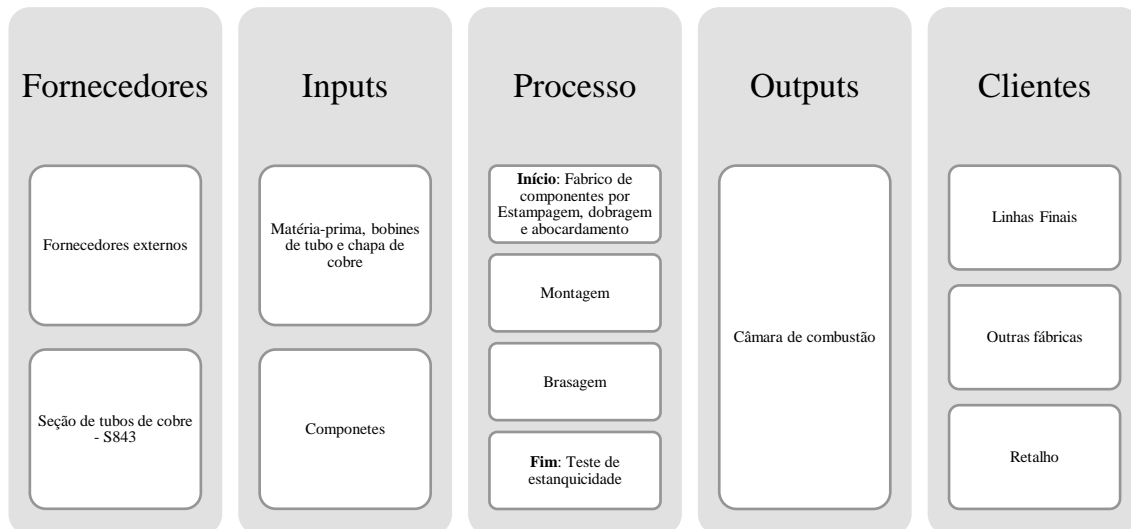


Figura 29 - SIPOC – Processo de fabrico de câmaras de combustão

O processo de fabrico de uma CC, inicia-se com o fabrico dos componentes que a constituem. Os subprocessos que envolvem o fabrico dos componentes são:

- Estampagem: A estampagem consistem em pré-marcar uma chapa de cobre que faz o corpo da CC.
- Dobragem: Os tubos de ligação da água fria e da água quente, bem como os acessórios que os conectam são dobrados com o recurso a uma máquina de dobragem automática.
- Abocardamento: A operação de abocardamento, exemplos de abocardados na figura 30, é a realização da forma final de um tubo ou componente de ligação.
- Montagem: União dos componentes é feita manualmente de modo a formar a CC.
- Brasagem: O processo de brasagem é realizado de forma através de um forno contínuo;
- Teste de estanquidade: é um teste de fugas realizado com ar pressurizado onde a cota de fuga é comparada com um padrão calibrado.



Figura 30 - Exemplos de abocardados

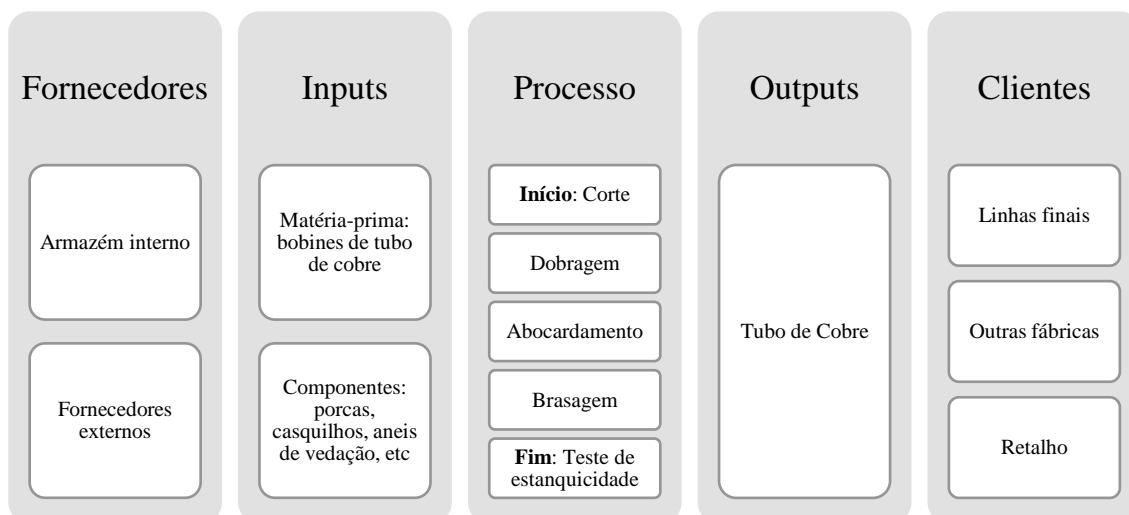


Figura 31 - SIPOC – Processo de fabrico de Tubos de cobre

O processo de fabrico de um tubo de cobre, inicia-se com a seleção da matéria-prima para proceder à dobragem do tubo. Os subprocessos que envolvem o seu fabrico são:

- Corte: Corte de secções retas em caso de dobragem manual ou corte automático a partir de bobine;
- Dobragem: Os tubos são dobrados com o recurso a uma máquina de dobragem automática ou manual através de um mandril;
- Abocardamento: A operação de abocardamento é a realização da forma final das extremidades do tubo de cobre.
- Brasagem: O processo de brasagem é realizado de forma manual ou automática dependendo da referência;
- Teste de estanquidade: é um teste de fugas realizado com ar pressurizado onde a cota de fuga é comparada com um padrão calibrado.

Avaliação histórica do problema

A complexidade dos processos envolvidos neste trabalho exige uma análise prévia acerca das referências objeto de estudo, de forma a ser selecionadas no máximo três aumentando assim a eficácia do trabalho desenvolvido. Para a análise ABC utilizou-se os dados referentes aos meses compreendidos entre Setembro e Dezembro, referentes à percentagem de defeitos. Os dados foram obtidos a partir dos já existentes nas folhas de OEE. A figura 32 é a análise ABC da secção 842, onde identificamos que 70% dos defeitos estão nas referências 1 e 2, mais detalhe na tabela 13.

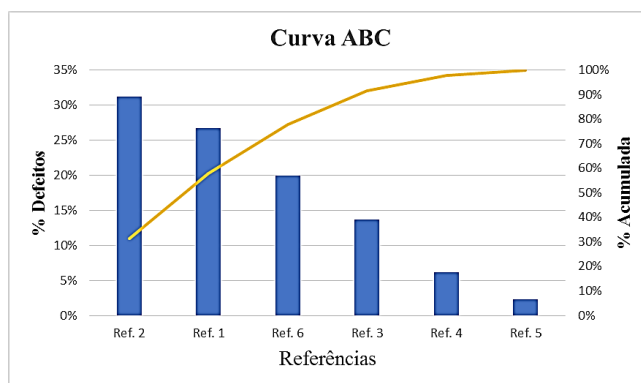


Figura 32 - Análise ABC

Tabela 13 - Contribuição total dos defeitos – Tubos de Cobre

Classe	Referência	% Defeitos Totais
A	2 - 1	70
B	6	20
C	3 - 4 - 5	10

A informação disponível nos ficheiros de OEE permite ir ao detalhe de 22 tipos de defeito diferentes. O contributo de cada um deles para o global está representado na figura 33. A partir desta análise construi-se a tabela 14, que permite identificar que os defeitos A, B, C e E são os que mais contribuem para as não conformidades da referência 1. O mesmo foi realizado para a referência 2, e a figura 34 e a tabela 15 fazem exemplo dessa análise. No caso da referência 2 apenas os defeitos A, B contribuem para 70% dos defeitos.

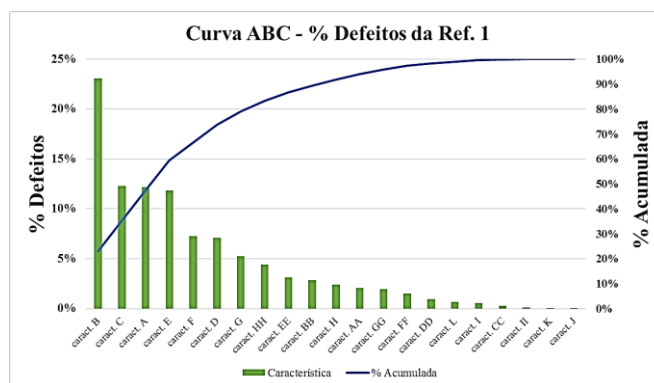


Figura 33 - Análise ABC – Ref.1

Tabela 14 - Contribuição total dos defeitos

Classe	Defeito	% Defeitos Totais
A	B - C - A - E	70
B	F - D - G	20
C	HH - EE - BB - H - AA - GG - FF - DD - L - I - CC - II - K - J	10

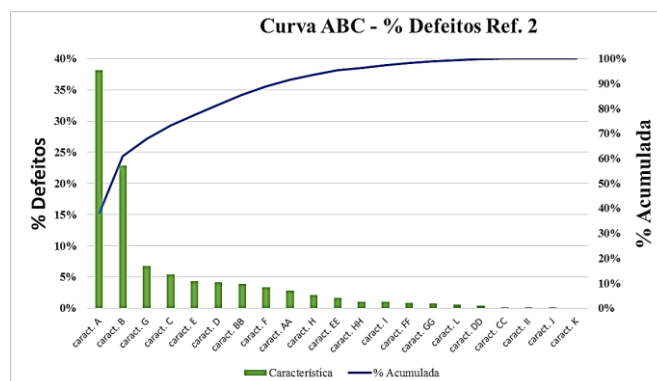


Figura 34 - Análise ABC – Ref.2

Tabela 15 - Contribuição total dos defeitos

Classe	Defeito	% Defeitos Totais
A	A - B	70
B	G - C - E - D - BB	20
C	F - AA - H - EE - HH - I - FF - GG - L - DD - CC - II - J - K	10

Em relação às referências objeto de estudo na secção 843, estas foram selecionadas com o suporte do SME e o critério usado foi a quantidade produzida de cada uma delas. Uma vez que estas representam um volume de produção muito representativo e com uma rotatividade grande toda análise será feita à volta das mesmas. Por razões de confidencialidade estas referências serão citadas como Tubo A, Tubo B e Tubo C. Cerca de 80 referências diferentes por dia, com lotes de produção que podem chegar às 240 unidades.

Para avaliar o desempenho das ações aplicadas definiu-se que as métricas a usar são os valores de %GRR para SM que geram dados do tipo contínuo e da eficácia para SM que geram dados discretos. Existem objetivos deste projetos que não foi possível traduzir em métricas, como a autonomia dos colaboradores para a operação de inspeção. Apesar de poder ser avaliado através ferramentas das ciências sociais que avaliam questões como a percepção do uso, não será foco deste trabalho apenas sendo apresentado as soluções que foram aplicadas e a forma como foram transmitidas aos operadores.

3.2.2 Etapa 2 – Medir

A segunda etapa do processo de melhoria DMAIC é Medir. Os principais objetivos desta etapa é medir a performance atual dos processos e priorizar os problemas. De seguida, é apresentado como foram recolhidos os dados, a análise que foi feita ao sistema de medição e por fim foi procedeu-se à priorização de problemas.

3.2.2.1 Recolha de Dados

Em uma primeira fase foi necessário definir como seria feita a recolha de dados. Uma vez que a aplicação dos métodos está diretamente relacionada com a qualidade dos dados usados decidiu-se recolher novos dados. Para tal realizou-se um plano de recolha de dados, como representado na tabela 16. Desta forma o levantamento da situação atual foi realizado com peças selecionadas pelo autor, previamente caracterizadas. Para recolher os dados por variável utilizaram-se as folhas de RPC já existentes na empresa, ver anexo A, no caso dos dados por atributo usou-se uma folha de recolha de dados realizada pelo autor, ver figura 35. O método de controlo a usar durante a medição, está definido no plano de controlo já existente e de forma a garantir que todos os avaliadores realizam da mesma forma, recorreu-se às instruções operacionais também já existentes para auxiliar visualmente a medição e não haver dúvidas.

Folha de recolha de dados - MSA por Atributo						
Número da peça		Nome do IM		Avaliador A		
<input type="text"/>		Número do IM		Avaliador B		
Característica	Especificação	Tipo de IM		Avaliador C		
		Ensaio	Peças	Avaliadores	Data de realização	
		3	50	3		
Medição	Avaliadores	Ensaio	Items Testados	Resultado	Padrão	
1		1				
2		1				
3		1				
4		1				
5		1				
6		1				
7		1				
8		1				
9		1				
10		1				
11		1				
12		1				
13		1				
14		1				
15		1				
16		1				
17		1				
18		1				
19		1				
20		1				

Figura 35 - Folha de recolha de dados para MSA por atributo

Tabela 16 - Plano de Recolha de Dados

Plano de Recolha de Dados									
O que medir			Como medir		Quem o vai fazer?	Plano de amostras			
Medição	Tipo de medição	Instrução Operacional	Medição ou método de teste	Método de recolha de dados	Pessoas destacadas	O quê?	Onde?	Quando?	Quantos?
Característica 1 – tubo A	Atributo	IO-0225	PC - 1176	Manual, e vão ser usadas as folhas de registo de plano de controlo (RPC) já existentes e uma folha de recolha de dados realizada pelo autor para as características por atributo	A definir pelo RT	P/NP	S843	A definir pelo RT	50
Característica 1.1 - tubo A	Atributo	IO-0225	PC - 1176			P/NP	S843		50
Característica 1.2 – tubo A	Atributo	IO-0225	PC - 1176			P/NP	S843		50
Característica 1.3 – tubo A	Atributo	IO-0225	PC - 1176			P/NP	S843		50
Característica 2 - tubo B	Variável	IO-0150	PC - 0905			Altura 260.3 - 264.3 mm	S843		10
Característica 3 – ref. 1 def B	Variável	IO-0067	PC - 1326			Diâmetro - 17.1 +0.26 mm	S842		10
Característica 4 – ref. 2 def A	Variável	IO-0071	PC - 1326			Altura 318 -0.5/1.5	S842		10

3.2.2.2 Avaliação dos SM

Após a recolha de dados realizou-se a MSA às características previamente seleccionadas presentes no plano de recolha de dados na coluna medição da tabela 16. A análise foi realizada com o suporte do *software MiniTab17*, usando o recurso análise de concordância, para as características por atributo, de modo a verificar a probabilidade do SM em classificar de forma errada uma peça. Para a MSA em que o resultado da inspeção das peças são dados contínuos foi usado o método das médias e amplitudes, por requerer um esforço computacional e analítico menor. Foi usado para o efeito a folha de recolha de dados e tratamento de dados da autoria da *AIAG*, para efetuar o estudo GRR.

MSA por atributo

Tubo A - Característica 1

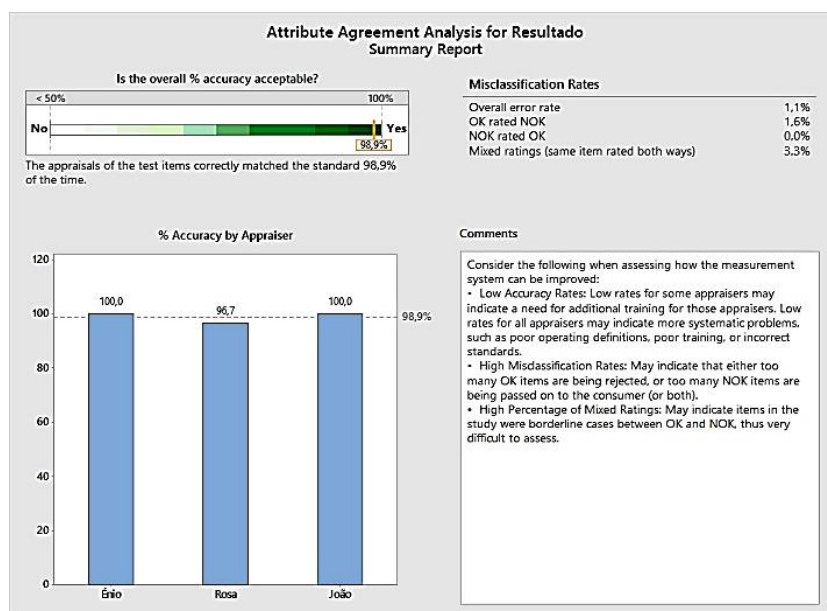


Figura 36 – Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1

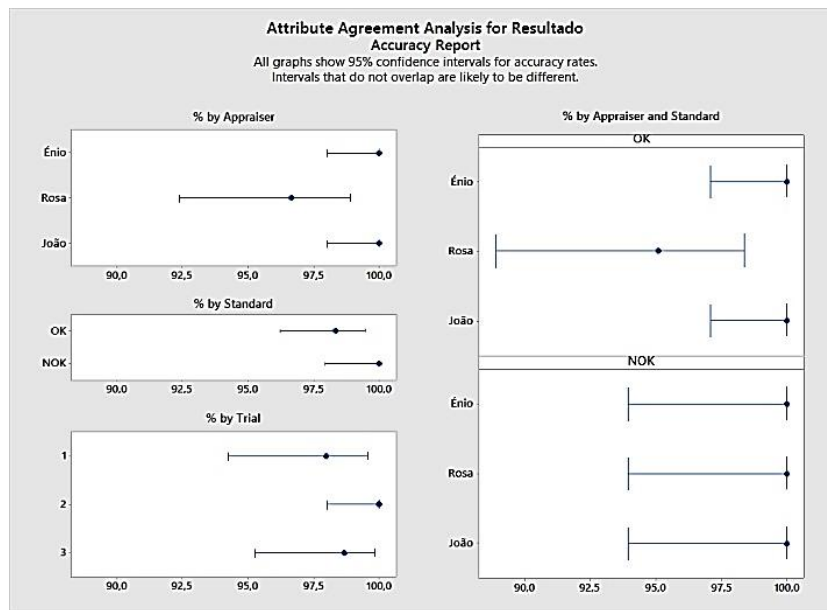


Figura 37 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -Tubo A - Característica 1

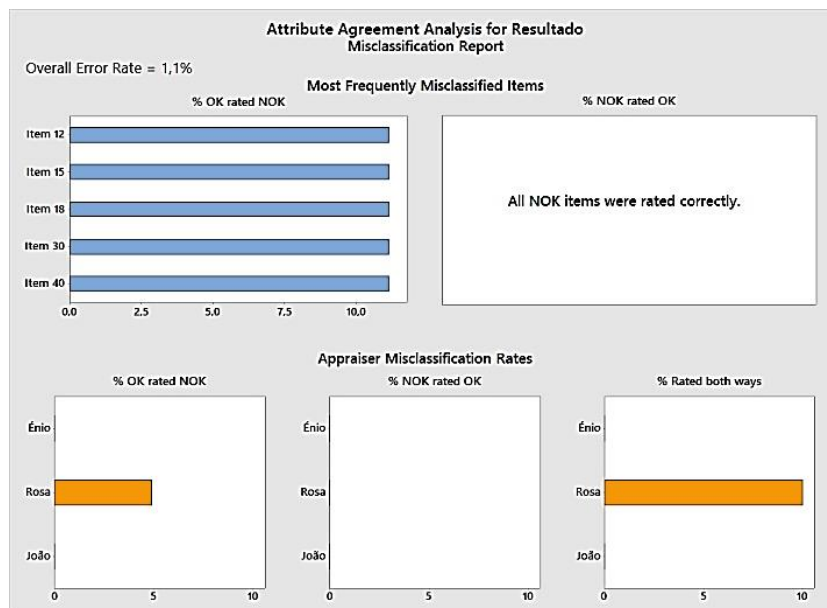


Figura 38 - Relatório de má classificação -Tubo A - Característica 1

A análise de concordância para a característica 1 do tubo A, permitiu aferir que o SM tem uma taxa de erro de 1,1 %, apenas 1,6% das peças OK foram classificadas como NOK, que 0% das peças NOK foram classificadas como OK, o mesmo item foi classificado como OK e NOK 3,3%. Os avaliadores conseguiram avaliar de acordo com o padrão 98,9% dos itens medidos. Acerca dos avaliadores apenas o avaliador Rosa, é que classificou mal itens de acordo com o padrão. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 36, 37 e 38.

Tubo A - Característica 1.1

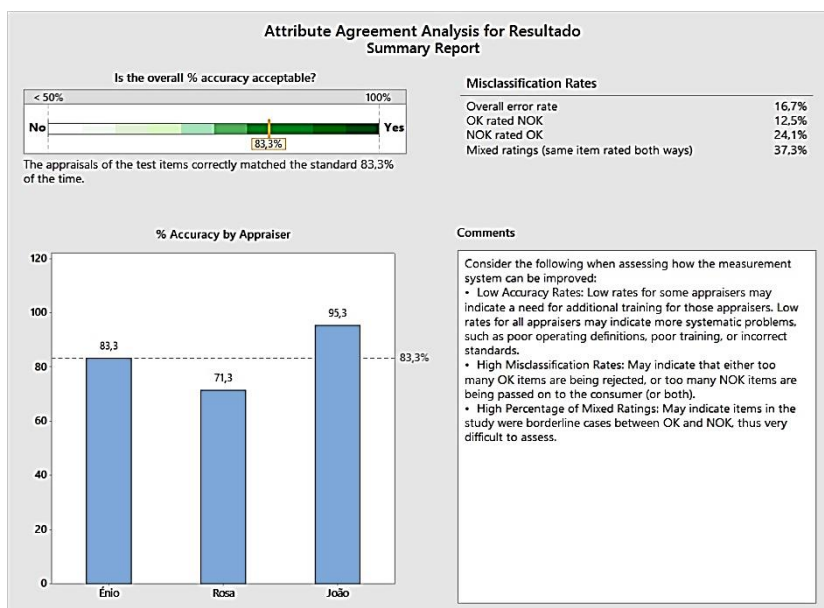


Figura 39 - Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1.1

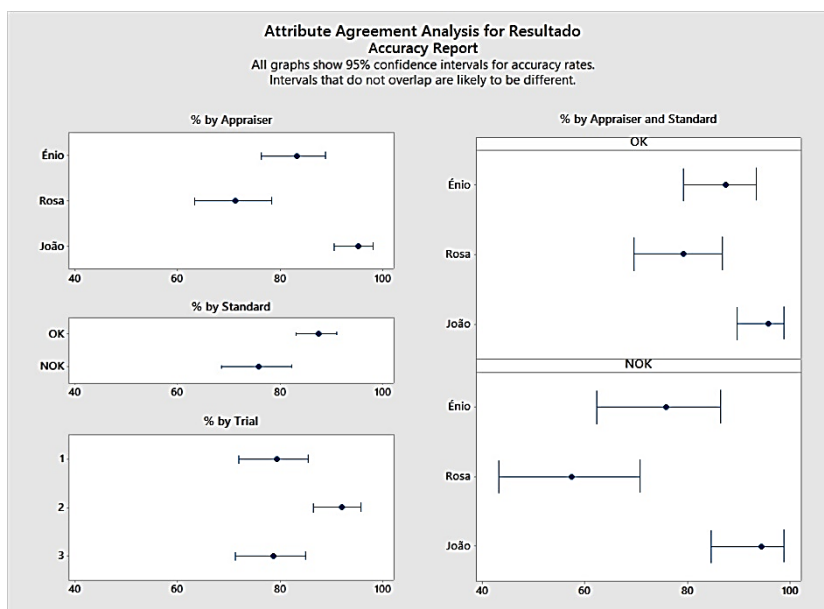


Figura 40 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -
Tubo A - Característica 1.1

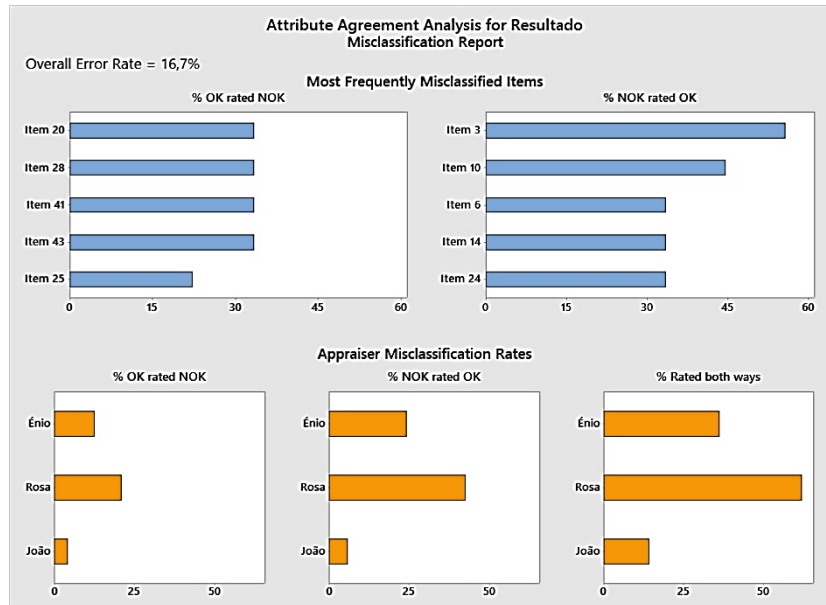


Figura 41 - Relatório de má classificação -Tubo A - Característica 1.1

A análise de concordância para a característica 1.1 do tubo A, permitiu aferir que o SM tem uma taxa de erro de 16,7%, apenas 12,5% das peças OK foram classificadas como NOK, que 24,1% das peças NOK foram classificadas como OK, o mesmo item foi classificado como OK e NOK 37,3%. Os avaliadores conseguiram avaliar de acordo com o padrão 83,3% dos itens medidos. O avaliador Rosa, é que classifica erradamente mais itens de acordo com o padrão, seguido o Énio e por fim o João. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 39, 40 e 41.

Tubo A - Característica 1.2

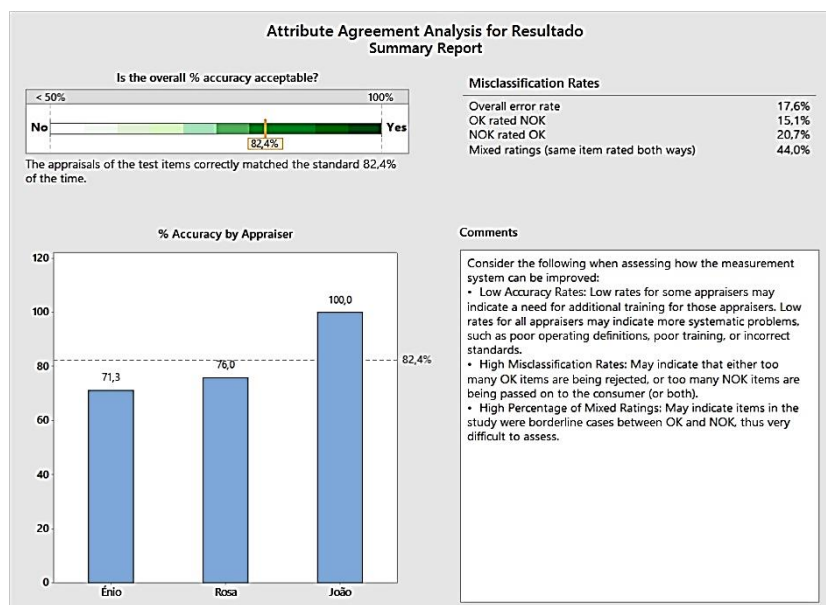


Figura 42 - Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1.2

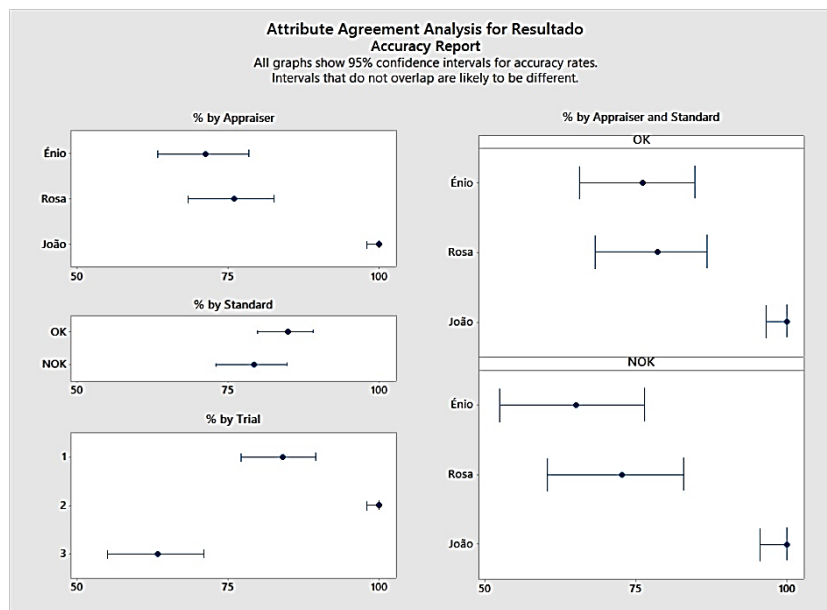


Figura 43 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -
Tubo A - Característica 1.2

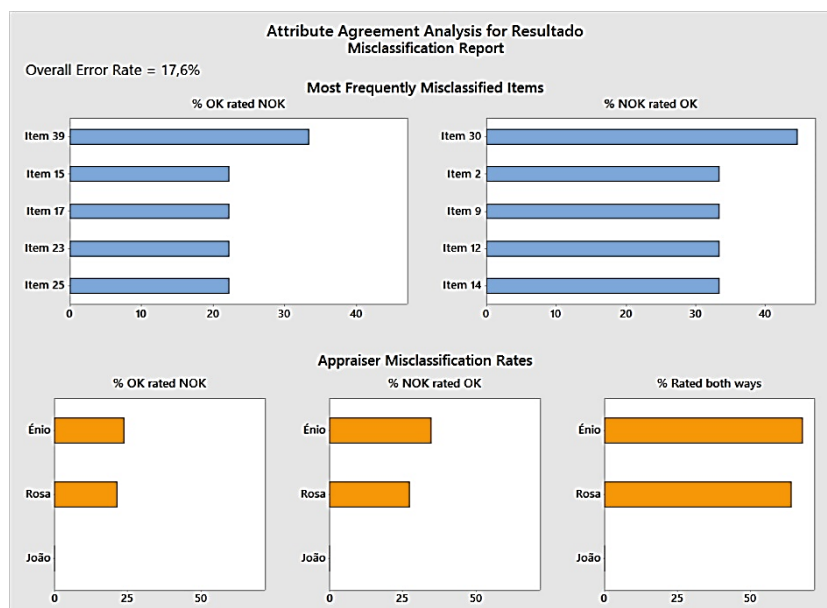


Figura 44 - Relatório de má classificação -Tubo A - Característica 1.2

A análise de concordância para a característica 1.2 do tubo A, permitiu aferir que o SM tem uma taxa de erro de 17,6%, apenas 15,1% das peças OK foram classificadas como NOK, que 20,7% das peças NOK foram classificadas como OK, o mesmo item foi classificado como OK e NOK 44,0%. Os avaliadores conseguiram avaliar de acordo com o padrão 82,4% dos itens medidos. O avaliador Énio, é que classifica erradamente mais itens de acordo com o padrão, seguido da Rosa, sendo que o João é 100% preciso nas suas medições. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 42, 43 e 44.

Tubo A - Característica 1.3

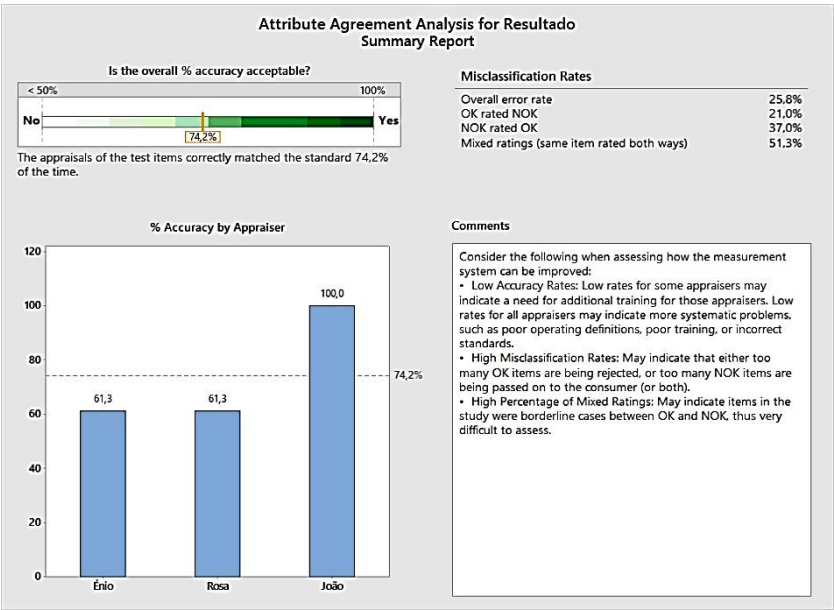


Figura 45 - Resumo Análise de concordância -Tubo A - Característica 1.3

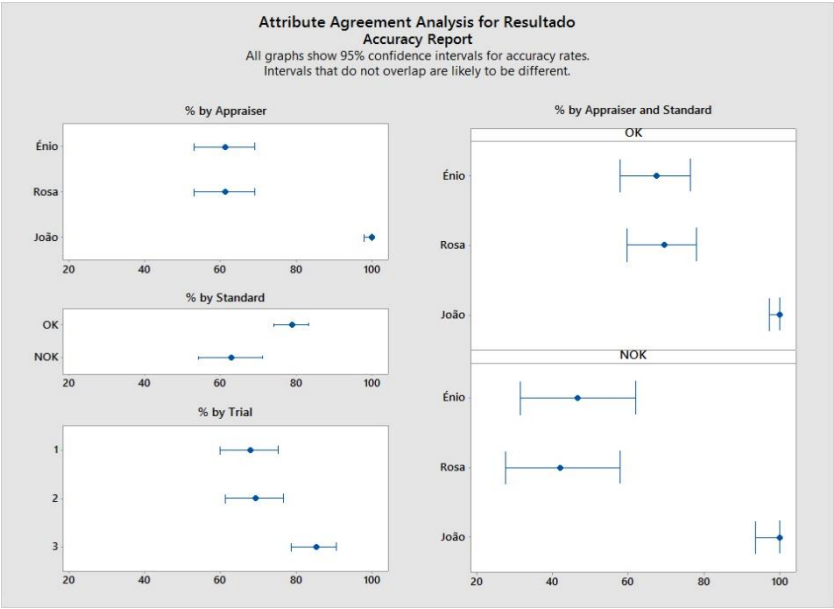


Figura 46 - Resumo da precisão por operador e de acordo com o padrão -
Tubo A - Característica 1.3

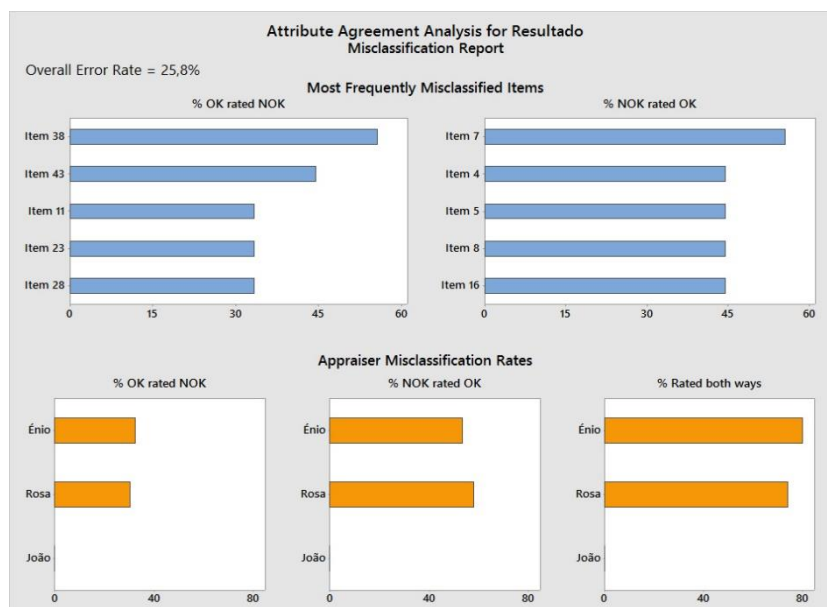


Figura 47 - Relatório de má classificação - Tubo A - Característica 1.3

A análise de concordância para a característica 1.3 do tubo A, permitiu aferir que o SM tem uma taxa de erro de 25,8%, apenas 21,0% das peças OK foram classificadas como NOK, que 37,0% das peças NOK foram classificadas como OK, o mesmo item foi classificado como OK e NOK 51,3%. Os avaliadores conseguiram avaliar de acordo com o padrão 74,2% dos itens medidos. O avaliador Rosa, é que classifica erradamente mais itens de acordo com o padrão, seguido do Énio, sendo que o João é 100% preciso nas suas medições. A tabela 17 resume a informação acima descrita, acerca da análise concordância do SM utilizado para inspeção das características da qualidade do tubo A. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 45, 46 e 47. O anexo G ilustra os dados recolhidos para esta característica.

A tabela 17 resume o resultado da aplicação da análise de concordância. Das características analisadas a 1.3 é que apresenta uma eficácia inferior, de 74,2%. Já a característica 1 apresenta uma eficácia de 98,9%. Do ponto de vista do avaliador o SM de medição usado para a característica 1 é aceitável. Para a 1.1 e 1.2 apesar da eficácia ser superior a 80% as taxas de erro ou má classificação são acima dos 5% o que demonstra a necessidade de melhoria, o mesmo acontece com a 1.3.

Tabela 17- Resumo da aplicação da análise de concordância

Análise de Concordância					
Característica	Taxa de erro (%)	Peças OK classificadas como NOK (%)	Peças NOK classificadas como OK (%)	Precisão (%)	Eficácia (%)
Característica 1 – Tubo A	1,1	1,6	0	3,3	98,9
Característica 1.1 – Tubo A	16,7	12,5	24,1	37,3	83,3
Característica 1.2 – Tubo A	17,6	15,1	20,7	44,0	82,4
Característica 1.3 – Tubo A	25,8	21,0	37,0	51,3	74,2

MSA por Variável

Para conduzir este estudo foram medidas de forma aleatória 10 peças, três vezes cada uma e por três avaliadores diferentes, usando o mesmo IM. As peças selecionadas representam a variação esperada do processo, tendo sido recolhidas ao longo de 10 semanas distintas. A avaliação foi realizada segundo as linhas orientadoras descritas no capítulo II deste documento, sendo baseada no valor de %GRR. Esta análise permite estimar a variação e a percentagem da variação do processo para o SM e os seus componentes repetibilidade, reprodutibilidade e variação da peça.

Tubo B - Característica 2

GAGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY DATA SHEET VARIABLE DATA RESULTS											
Part Number Tubo B		Gage Name Graminho				Appraiser A Enio					
Part Name Tubo B		Gage Number N/A				Appraiser B Rosa					
Characteristic Altura do tubo		Specification 262,3 -2 2		Gage Type Variável				Appraiser C João			
Characteristic Classification		Trials 3		Parts 10		Appraisers 3		Date Performed 05/04/2016			

APPRAISER/ TRIAL #	PART										AVERAGE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1	261,52	261,80	261,60	261,70	261,69	262,00	261,30	261,70	261,50	261,52	261,633
2. 2	261,41	261,70	261,70	261,62	261,78	261,90	261,40	261,60	261,50	261,50	261,611
3. 3	261,52	261,70	261,70	261,60	261,76	261,90	261,40	261,61	261,60	261,50	261,629
4. AVE	261,48	261,73	261,67	261,64	261,74	261,93	261,37	261,64	261,53	261,51	$\bar{X}_a = 261,624$
5. R	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,02	$r_a = 0,092$
6. B 1	261,50	261,80	261,70	261,70	261,66	261,90	261,30	261,60	261,60	261,50	261,626
7. 2	261,40	261,70	261,70	261,62	261,74	261,90	261,40	261,61	261,60	261,62	261,629
8. 3	261,50	261,80	261,60	261,70	261,70	261,90	261,30	261,70	261,50	261,50	261,620
9. AVE	261,47	261,77	261,67	261,67	261,70	261,90	261,33	261,64	261,57	261,54	$\bar{X}_b = 261,625$
10. R	0,10	0,10	0,10	0,08	0,08	0,00	0,10	0,10	0,10	0,12	$r_b = 0,088$
11. C 1	261,50	261,80	261,70	261,60	261,70	261,90	261,40	261,60	261,50	261,50	261,620
12. 2	261,41	261,70	261,60	261,71	261,60	262,01	261,30	261,60	261,60	261,51	261,604
13. 3	261,50	261,70	261,60	261,60	261,60	261,90	261,40	261,70	261,60	261,60	261,620
14. AVE	261,47	261,73	261,63	261,64	261,63	261,94	261,37	261,63	261,57	261,54	$\bar{X}_c = 261,615$
15. R	0,09	0,10	0,10	0,11	0,10	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	$r_c = 0,101$
16. PART AVE (\bar{X}_p)	261,47	261,74	261,66	261,65	261,69	261,92	261,36	261,64	261,56	261,53	$\bar{X} = 261,621$
17. $(r_a + r_b + r_c) / (\# \text{ OF APPRAISERS}) =$											$R = 0,094$
18. $(\text{Max } X - \text{Min } X) =$											$X_{DIFF} = 0,010$
19. $R \times D_4^* =$											$UCL_R = 0,242$
20. $R \times D_3^* =$											$LCL_R = 0,000$

Figura 48 - Folha de recolha de dados - Tubo B - Característica 2

Measurement Unit Analysis				% Total Variation (TV)	
Repeatability - Equipment Variation (EV)				% EV = 100 (EV/TV) = 100(0.000/0.001) = 29,66	
EV	= R x K ₁	Trials	K1		
	= 0.000 x 3,05	2	4,56		
	= 0,286	3	3,05		
Reproducibility - Appraiser Variation (AV)				% AV = 100 (AV/TV) = 100(0.000/0.001) = 0,00	
AV	= {(X _{DIFF} x K ₂) ² - (EV ² /nr)} ^{1/2}				
	= {(0.000 x 2,7) ² - (0.000 ² /(10 x 3))} ^{1/2}				
	= 0,000	Appraisers	2	3	
		K ₂	3,65	2,70	n = number of parts r = number of trials
Repeatability & Reproducibility (R & R)					
R & R	= {(EV ² + AV ²) ^{1/2}	Parts	K ₃		
	= {(0.000 ² + 0.000 ²) ^{1/2}	2	3,65	% R&R = 100 (R&R/TV) = 100(0.000/0.001) = 29,66	
	= 0,286	3	2,70		
Part Variation (PV)				Gage system may be acceptable	
PV	= R _p x K ₃	4	2,30		
	= 0.001 x 1,62	5	2,08	% PV = 100 (PV/TV) = 100(0.001/0.000) = 95,50	
	= 0,920	6	1,93		
Total Variation (TV)					
TV	= {(R&R ² + PV ²) ^{1/2}	7	1,82		
	= {(0.000 ² + 0.001 ²) ^{1/2}	8	1,74		
	= 0,963	9	1,67		
		10	1,62		

Figura 49 - Tabela Resumo dos resultados - Tubo B - Característica 2

$$ndc = 1.41 \left(\frac{PV}{GRR} \right) = 4,539 \sim 5$$

Equação

A variação do equipamento ou a repetibilidade representa 29,66% da variação total, já a variação devido ao avaliador é 0,0%, devido ao valor da raiz ser negativo. O valor da %GRR indica que é possível de melhorar, sendo necessária uma avaliação do custo do IM e da importância desta operação de inspeção em concreto. Como o valor de EV é maior que o de AV indica que o instrumento de medição poderá precisar de manutenção, ser redesenhado, as peças não estão a ser fixadas corretamente para a medição havendo variação de posição ou ainda que existe uma elevada variação intra peça. Da análise também é possível verificar que a variação das peças, sem a componente da variação da medição é de 95,5%. O número de categorias que o sistema consegue detetar é 5 o que indica que é apropriado para identificar variações no processo ou quantificar valores de características específicas das peças. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 48 e 49.

Referência 1 – Característica 3

GAUGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY DATA SHEET VARIABLE DATA RESULTS												
Part Number Referência 1				Gage Name Micrometro de Interiores				Appraiser A Ricardo				
Part Name Referência 1				Gage Number N/A				Appraiser B Miguel				
Characteristic Diâmetro interi				Specification 17,1 -0,5 1,5				Appraiser C Nuno				
Characteristic Classification				Trials 3		Parts 10		Appraisers 3		Date Performed 08/04/2016		

APPRAISER/ TRIAL #	PART										AVERAGE	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1. A	1	18,30	17,26	17,19	17,05	17,11	17,10	17,14	17,03	17,34	17,03	17,255
2.	2	18,24	17,33	17,33	17,08	17,10	17,12	17,07	17,24	17,34	17,29	17,314
3.	3	18,25	17,06	17,07	17,22	17,05	17,09	17,18	17,25	17,04	17,31	17,252
4.	AVE	18,263	17,217	17,197	17,117	17,087	17,103	17,130	17,173	17,240	17,210	$\bar{X}_a = 17,2737$
5.	R	0,06	0,27	0,26	0,17	0,06	0,03	0,11	0,22	0,30	0,28	$\bar{r}_a = 0,176$
6. B	1	18,14	17,29	17,28	17,12	17,35	17,11	17,01	17,17,1	17,22	17,04	17,284
7.	2	18,12	17,08	17,20	17,18	17,34	17,13	17,30	17,25	17,22	17,06	17,288
8.	3	18,16	17,31	17,23	17,29	17,09	17,06	17,26	17,28	17,14	17,05	17,287
9.	AVE	18,140	17,227	17,237	17,197	17,260	17,100	17,190	17,265	17,193	17,050	$\bar{X}_b = 17,2858$
10.	R	0,04	0,23	0,08	0,17	0,26	0,07	0,29	0,03	0,08	0,02	$\bar{r}_b = 0,127$
11. C	1	18,19	17,18	17,17	17,08	17,06	17,12	17,24	17,29	17,22	17,31	17,286
12.	2	18,22	17,35	17,19	17,07	17,07	17,10	17,28	17,33	17,24	17,32	17,317
13.	3	18,24	17,17	17,14	17,08	17,05	17,12	17,22	17,31	17,24	17,34	17,291
14.	AVE	18,217	17,233	17,167	17,077	17,060	17,113	17,247	17,310	17,233	17,323	$\bar{X}_c = 17,2980$
15.	R	0,05	0,18	0,05	0,01	0,02	0,02	0,06	0,04	0,02	0,03	$\bar{r}_c = 0,048$
16. PART	AVERAGE	18,207	17,226	17,200	17,130	17,136	17,106	17,189	17,249	17,222	17,194	$\bar{X} = 17,2858$ $\bar{R}_p = 1,101$
17.	$(\bar{r}_a + \bar{r}_b + \bar{r}_c) / (\# \text{ OF APPRAISERS}) =$											$\bar{R} = 0,1170$
18.	$\bar{X}_{DIFF} = (\text{Max } \bar{X} - \text{Min } \bar{X}) =$											$\bar{X}_{DIFF} = 0,0243$
19.	$* UCL_R = \bar{R} \times D_4 =$											$UCL_R = 0,3019$
<p>* $D_4 = 3,27$ for 2 trials and $2,58$ for 3 trials. UCL_R represents the limit of individual R's. Circle those that are beyond this limit. Identify the cause and correct. Repeat these readings using the same appraiser and unit as originally used or discard values and re-average and recompute \bar{R} and the limiting value from the remaining observations.</p> <p>Notes: _____</p> <p>_____</p>												

Figura 50 - Folha de recolha de dados – Referência 1 - Característica 3

Measurement Unit Analysis					% Total Variation (TV)	
Repeatability - Equipment Variation (EV)					% EV	= 100 (EV/TV) = 100(0.000/0.002) = 19,62
EV	=	$R \times K_1$	Trials	K1		
	=	0.000 x 3,05	2	4,56		
	=	0,357	3	3,05		
Reproducibility - Appraiser Variation (AV)					% AV	= 100 (AV/TV) = 100(0.000/0.002) = 0,47
AV	=	$\{(X_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2/nr)\}^{1/2}$				
	=	$\{(0.000 \times 2,7)^2 - (0.000^2/(10 \times 3))\}^{1/2}$				
	=	0,008	Appraisers	2		
			K_2	3,65	2,70	n = number of parts r = number of trials
Repeatability & Reproducibility (R & R)					% R&R	= 100 (R&R/TV) = 100(0.000/0.002) = 19,62 <i>Gage system may be acceptable</i>
R & R	=	$\{(EV^2 + AV^2)\}^{1/2}$	Parts	K₃		
	=	$\{(0.000^2 + 0.000^2)\}^{1/2}$	2	3,65		
	=	0,357	3	2,70		
Part Variation (PV)					% PV	= 100 (PV/TV) = 100(0.002/0.000) = 98,06
PV	=	$R_p \times K_3$	4	2,30		
	=	0.001 x 1,62	5	2,08		
	=	1,784	6	1,93		
Total Variation (TV)						
TV	=	$\{(R\&R^2 + PV^2)\}^{1/2}$	7	1,82		
	=	$\{(0.000^2 + 0.002^2)\}^{1/2}$	8	1,74		
	=	1,819	9	1,67		
			10	1,62		

Figura 51 - Tabela Resumo resultados - Referência 1 - Característica 3

$$ndc = 7,046 \sim 7$$

A variação do equipamento ou a repetibilidade representa 19,61% da variação total, já a variação devido ao avaliador é 0,47%. O valor da %GRR indica que é possível de melhorar, sendo necessária uma avaliação do custo do IM e da importância desta operação de inspeção em concreto. Da análise também é possível verificar que a variação das peças, sem a componente da variação da medição é de 98,06%. O valor de EV é maior que o de AV. O número de categorias que o sistema consegue detetar é 7 o que indica que é apropriado para identificar variações no processo ou quantificar valores de características específicas das peças. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 50 e 51.

Referência 2 – Característica 4

GAGE REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY DATA SHEET VARIABLE DATA RESULTS												
Part Number Referência 2				Gage Name Graminho				Appraiser A Ricardo				
Part Name Referência 2				Gage Number N/A				Appraiser B Miguel				
Characteristic Altura				Specification 318 -0,5 1,5				Gage Type N/A				Appraiser C Nuno
Characteristic Classification				Trials 3		Parts 10		Appraisers 3		Date Performed 07/04/2017		

APPRAISER/ TRIAL #	PART										AVERAGE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1	318,60	318,61	318,30	318,52	318,85	318,40	318,55	318,40	318,71	318,56	318,550
2. 2	318,71	318,52	318,31	318,40	318,81	318,50	318,45	318,40	318,70	318,68	318,548
3. 3	318,60	318,50	318,40	318,43	318,75	318,50	318,59	318,50	318,65	318,58	318,550
4. AVE	318,64	318,54	318,34	318,45	318,80	318,47	318,53	318,43	318,69	318,61	X _a = 318,549
5. R	0,11	0,11	0,10	0,12	0,10	0,10	0,14	0,10	0,06	0,12	r _a = 0,106
6. B 1	318,60	318,62	318,73	318,40	318,70	318,40	318,57	318,61	318,73	318,55	318,591
7. 2	318,71	318,50	318,60	318,40	318,80	318,50	318,42	318,60	318,61	318,51	318,565
8. 3	318,65	318,55	318,60	318,40	318,70	318,50	318,51	318,61	318,50	318,54	318,556
9. AVE	318,65	318,56	318,64	318,40	318,73	318,47	318,50	318,61	318,61	318,53	X _b = 318,571
10. R	0,11	0,12	0,13	0,00	0,10	0,10	0,15	0,01	0,23	0,04	r _b = 0,099
11. C 1	318,60	318,40	318,63	318,40	318,81	318,51	318,50	318,63	318,30	318,70	318,548
12. 2	318,70	318,40	318,63	318,40	318,81	318,55	318,64	318,66	318,30	318,61	318,570
13. 3	318,65	318,50	318,40	318,40	318,70	318,50	318,70	318,61	318,30	318,73	318,549
14. AVE	318,65	318,43	318,55	318,40	318,77	318,52	318,61	318,63	318,30	318,68	X _c = 318,556
15. R	0,10	0,10	0,23	0,00	0,11	0,05	0,20	0,05	0,00	0,12	r _c = 0,096
16. PART AVE (x _p)	318,65	318,51	318,51	318,42	318,77	318,48	318,55	318,56	318,53	318,61	X= 318,559 R _p = 0,353
17. (r _a + r _b + r _c) / (# OF APPRAISERS) =											R= 0,100
18. (Max x - Min x) =											X _{DIFF} = 0,021
19. R x D ₄ * =											UCL _R = 0,259
20. R x D ₃ * =											LCL _R = 0,000

Figura 52 - Folha de recolha de dados - Referência 2 - Característica 4

Measurement Unit Analysis				% Total Variation (TV)	
Repeatability - Equipment Variation (EV)				% EV = 100 (EV/TV) = 100(0.000/0.001) = 47,14	
EV	=	$R \times K_1$	Trials		
	=	0.000 x 3,05	2		
	=	0,306	3		
Reproducibility - Appraiser Variation (AV)				% AV = 100 (AV/TV) = 100(0.000/0.001) = 2,16 n = number of parts r = number of trials	
AV	=	$\{(X_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2/nr)\}^{1/2}$	Appraisers		
	=	$\{(0.000 \times 2,7)^2 - (0.000^2/(10 \times 3))\}^{1/2}$	2		
	=	0,014	3		
Repeatability & Reproducibility (R & R)				% R&R = 100 (R&R/TV) = 100(0.000/0.001) = 47,19 <i>Gage system needs improvement</i>	
R & R	=	$\{(EV^2 + AV^2)\}^{1/2}$	Parts		
	=	$\{(0.000^2 + 0.000^2)\}^{1/2}$	2		
	=	0,306	3		
Part Variation (PV)				% PV = 100 (PV/TV) = 100(0.001/0.000) = 88,17	
PV	=	$R_P \times K_3$	4		
	=	0.000 x 1,62	5		
	=	0,572	6		
Total Variation (TV)					
TV	=	$\{(R^2 + PV^2)\}^{1/2}$	7		
	=	$\{(0.000^2 + 0.001^2)\}^{1/2}$	8		
	=	0,649	9		
			10		

Figura 53 -Tabela Resumo resultados - Referência 2 - Característica 4

$$ndc = 2,634 \sim 3$$

A variação do equipamento ou a repetibilidade representa 29,66% da variação total, já a variação devido ao avaliador é 0,0%, devido ao valor da raiz ser negativo. O valor da %GRR indica que é possível de melhorar, sendo necessária uma avaliação do custo do IM e da importância desta operação de inspeção em concreto. Da análise também é possível verificar que a variação das peças, sem a componente da variação da medição é de 95,5%. O valor de EV é maior que o de AV. O número de categorias que o sistema consegue detetar é 3 o que indica que é possível de inaceitável para identificar variações no processo e quanto à mensuração de valores de características específicas das peças pode levar a agrupar valores em três categorias distintas. Estes resultados podem ser verificados com mais detalhe nas figuras 52 e 53.

3.2.2.3 Focos prioritários do problema

A partir da aplicação do MSA, é possível identificar um problema prioritário de imediato que é a necessidade da aplicação de ações de melhoria no SM utilizado para a inspeção da característica 4 da referência 2 e para a característica 1.3, 1.2 e 1.1 do tubo A. Uma vez que é necessário aplicar várias melhorias, decidiu-se em equipa que o foco de maior análise seria sobre a referência 2, por representar o pior resultado. Para tal foi realizada uma análise Multivariada (ANOVA), cartas de controlo, histogramas para os dados contínuos. Em relação às outras duas referências a análise foi realizada em conjunto com o SME e restante equipa, por não representar uma prioridade para a empresa. O mesmo foi realizado para o tubo A. A tabela 18 resume a priorização dos desvios encontrados.

Tabela 18 - Problemas prioritários

Problemas prioritários			
Prioridade	Característica / Referência	Foco	Ação
1	Característica 4 - Referência 2	Identifica a maior fonte de variação do SM	Aplicar ANOVA ao GRR
2	Característica 1.3 – Tubo A	Desenvolver novo IM	Alterar IM de atributo para variável
3	Característica 3 - referência 1	Desenvolver melhorias no SM	Alterar IM de variável para atributo
4	Característica 1.1 – Tubo A	Desenvolver melhorias no SM	Reunir equipa e identificar possíveis causas
5	Característica 1.2 – Tubo A	Desenvolver melhorias no SM	Reunir equipa e identificar possíveis causas

3.2.2.3.1 Variações do problema prioritário

Após a priorização dos problemas encontrados realizou-se um estudo mais aprofundado do problema definido como prioritário, referente à característica 4 da referência. Para avaliar com mais detalhe as fontes de variabilidade utilizou-se a ANOVA, testando os componentes peça, avaliador, interação avaliador-peça e o GRR. A figura 54 representa um gráfico das amplitudes por avaliador e mostra que encontra-se sob controle estatístico. O avaliador A apresenta uma dispersão menor do que os restantes, no entanto como não existem pontos fora do limite superior o que revela que existe consistência nas medições de todos os avaliadores. O gráfico das médias, figura 54, compara a variação entre peças em relação a repetibilidade. Este apresenta vários pontos fora do limite superior e inferior, em relação a todos os avaliadores, uma vez que as peças selecionadas representam a variação real do processo, havendo peças com características com valores dentro de toda a gama dos limites de especificação. Podendo assim mostrar não estar sob controle, mas na realidade num estudo MSA o que isto indica é que a variação entre peças é maior que variação do dispositivo de medição.

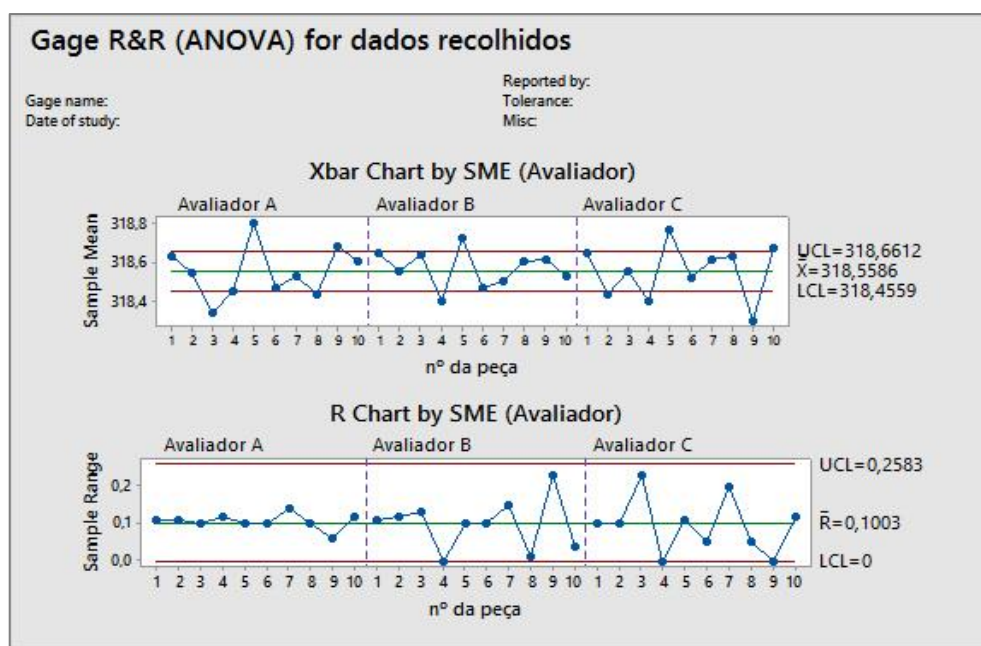


Figura 54 - Gráficos X-barra e R

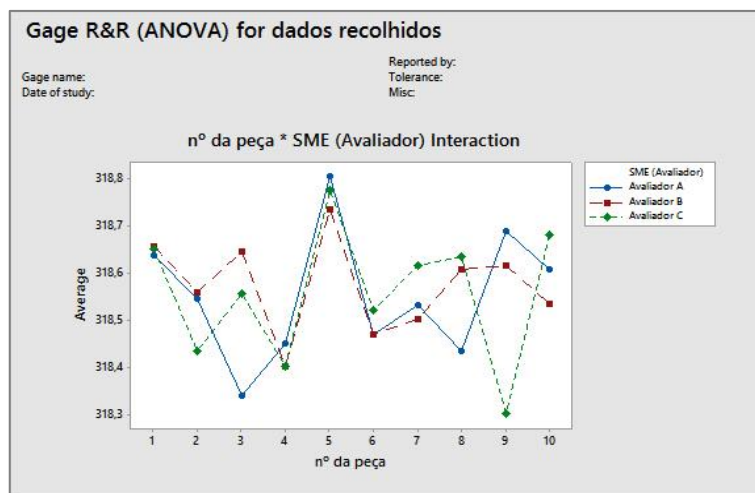


Figura 55 - Interação Avaliador - Peça

A figura 55 representa a interação entre o operador e a peça, cada linha do gráfico liga a média da medição de cada peça para cada avaliador. A partir da análise deste gráfico podemos aferir que a capacidade dos avaliadores medirem uma peça depende da peça estão a medir. A confirmação deste fato pode ser na figura 58, uma vez que o valor do p -value é inferior a 0,05 o que significa que a interação avaliador-peça é significativa. A figura 56, referente às medições por peça também evidencia que as diferenças entre as peças são claras, uma vez que os círculos azuis que dizem respeito às medições variam muito em relação à média de cada peça, que é representada pela linha central azul.

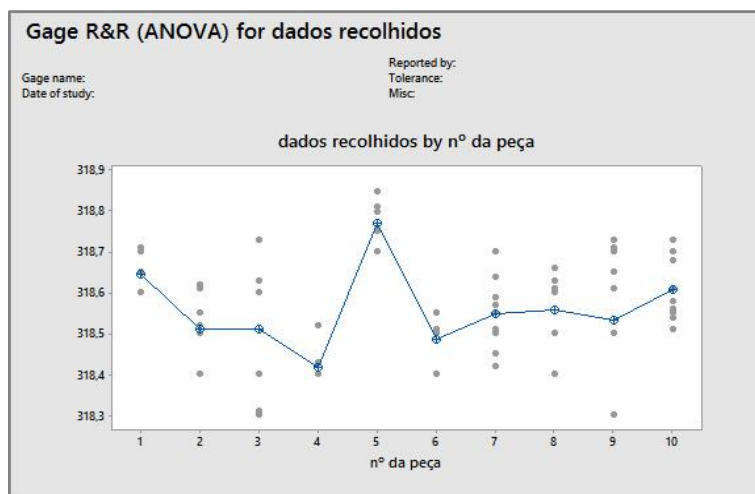


Figura 56 - Medições por operador

Um dos *outputs* da ANOVA é a distinção dos componentes da variabilidade e o seu contributo, a figura 57 está organizado em *clusters* representativos das várias fontes de variabilidade, composto pela %contribuição, %variação do estudo e %tolerância. Um bom SM o maior contribuinte é a variação entre peças, neste caso o resultado da ANOVA indica que o GRR tem a maior contribuição indicando que estamos perante um SM que precisa de melhorias.

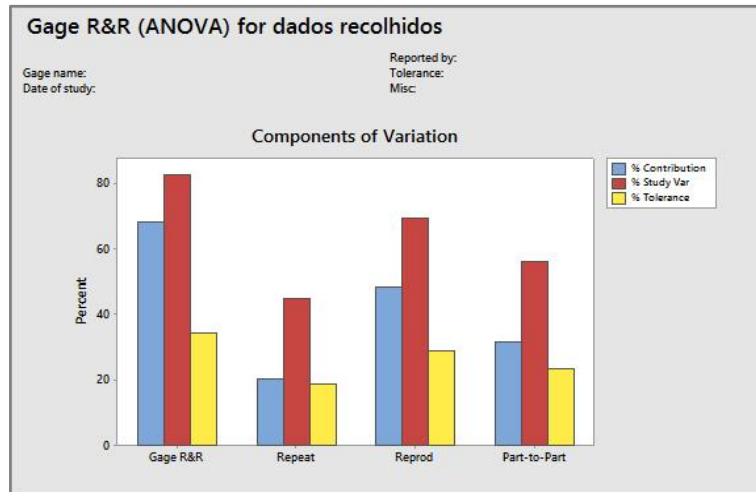


Figura 57 - Clusters ANOVA

Com a aplicação da ANOVA foi realizado três testes de hipóteses, um para a peça, uma para o avaliador e outro para a interação avaliador-peça. Sendo estas respetivamente:

- H_0 : As médias são iguais
- H_0 : O avaliador não tem influência
- H_0 : A interação avaliador – peça não tem influência

Gage R&R Study - ANOVA Method

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
nº da peça	9	0,77100	0,0856668	2,73061	0,033
SME (Avaliad	2	0,00720	0,0036011	0,11478	0,892
nº da peça * SME (Avaliad	18	0,56471	0,0313727	8,14171	0,000
Repeatability	60	0,23120	0,0038533		
Total	89	1,57411			

α to remove interaction term = 0,05

Figura 58 - ANOVA - GRR

Da tabela da ANOVA, foi possível concluir que a hipótese nula de que as médias das peças são iguais não pode ser rejeitada. O valor de p da figura 58, para o componente nº da peça, é inferior a 0,05 o que evidencia que as médias das medições das peças diferem significativamente. O mesmo pode ser dito da hipótese nula o avaliador não tem influência, a interação avaliador-peça é significativa. O avaliador não tem influência significativa, podendo aceitar a hipótese nula.

Como resultado a aplicação da ANOVA a tabela presente na figura 59, representa a quantificação da variância de cada componente e a estimativa da percentagem da variação causada pelo SM. Os maiores contribuintes em termos de variação são a reprodutibilidade e a interação avaliador-peça.

Gage R&R		
Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0,0130265	68,35
Repeatability	0,0038533	20,22
Reproducibility	0,0091731	48,13
SME (Avaliad	0,0000000	0,00
SME (Avaliad*nº da peça	0,0091731	48,13
Part-To-Part	0,0060327	31,65
Total Variation	0,0190591	100,00

Process tolerance = 2

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 × SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0,114134	0,684801	82,67	34,24
Repeatability	0,062075	0,372451	44,96	18,62
Reproducibility	0,095776	0,574659	69,38	28,73
SME (Avaliad	0,000000	0,000000	0,00	0,00
SME (Avaliad*nº da peça	0,095776	0,574659	69,38	28,73
Part-To-Part	0,077670	0,466022	56,26	23,30
Total Variation	0,138055	0,828329	100,00	41,42

Number of Distinct Categories = 1

Figura 59 - Contribuição para a variação total de cada componente

Uma vez que o SM é usado para avaliar peças em relação à especificação a % da tolerância é a métrica mais apropriada para avaliação SM. A variação do sistema de medição é menor que 34,24% da amplitude da tolerância, como o valor é acima dos 30% o SM não está aceitável e precisa de ser melhorado. Sendo que o foco será a interação avaliador-peça que é o que mais contribui para a variação total, seguido da reprodutibilidade. Uma das razões poderá ser o uso de diferentes métodos de medição ou dificuldade na leitura do resultado apresentado pelo IM. Após esta análise definiu-se as metas a alcançar para cada desvio, como presente na tabela 19.

Tabela 19 - Metas a alcançar

Definição de metas a alcançar		
Prioridade	Característica / Referência	Meta
1	Característica 4 - Referência 2	%GRR < 10%
2	Característica 1.3 – Tubo A	%GRR < 10%
3	Característica 3 - referência 1	Precisão ≥ 90% e taxa de erro ≤ 2%

3.2.3 Etapa 3 – Analisar

A terceira etapa do processo de melhoria DMAIC é Analisar. Os principais objetivos desta etapa é responder à pergunta: Qual é a causa dos desvios identificados? De modo a identificar causas potenciais do problema foi realizado pelo autor um *Workshop* com vários elementos da equipa do projeto para identificar as causas dos problemas já identificados. A análise debruçou-se apenas nos problemas identificados com prioridade 1, 2 e 3.

3.2.3.1 Identificação das causas potenciais

Característica 4 – Referência 2

Com base na interpretação dos dados recolhidos na etapa anterior à aplicação do DMAIC podem ser identificadas através dos resultados obtidos da ANOVA, várias causas potenciais para o problema relacionado com esta característica. Sendo elas:

- Utilização de diferentes métodos para efetuar a medição;
- Variação na posição da peça durante a medição;
- Dificuldade da leitura e interpretação dos resultados por parte dos avaliadores;
- Falta de treino por parte dos avaliadores;
- Variação da posição da peça durante a medição;

De forma a analisar com mais detalhe todo o processo de medição desta característica, foi realizado um vídeo de em conjunto com o avaliador A, uma vez que mostrou maior consistência nas medições na etapa anterior. Após a realização deste vídeo, a figura 60 é uma captura desse vídeo, foi realizada uma análise com o suporte da responsável dos Tempos de Métodos do projeto, com base no *standard*, por via de uma instrução operacional, já estabelecido de modo a verificar se existe algum desvio no método aplicado. O resultado desta análise não pode ser divulgado em detalhe por questões de confidencialidade por parte da organização. No entanto o resultado da mesma foi que o avaliador A cumpria o *standard* daí obter melhores resultados. Ainda desta análise surgiu a necessidade de rever os *standards* já estabelecidos em relação à existência de peças padrão e tipos de IM utilizados na secção de CC.

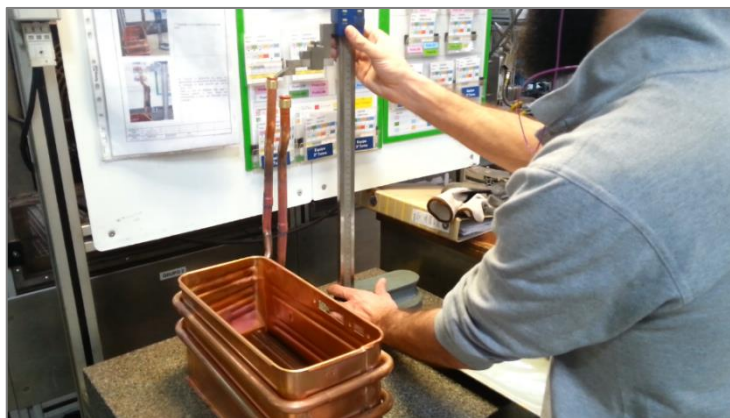


Figura 60 - Avaliador com melhor desempenho - Identificação do método usado

Causa fundamental: Nem todos os avaliadores cumprem o *standard* definido para realizar a medição, ou seja utilizam métodos diferentes.

Característica 1.3 – Tubo A

De modo a chegar à causa fundamental do desvio foi realizado durante o *workshop* o levantamento das causas potenciais para o desvio, através da realização de uma diagrama de causa e efeito. A figura 61 é o resultado da análise.

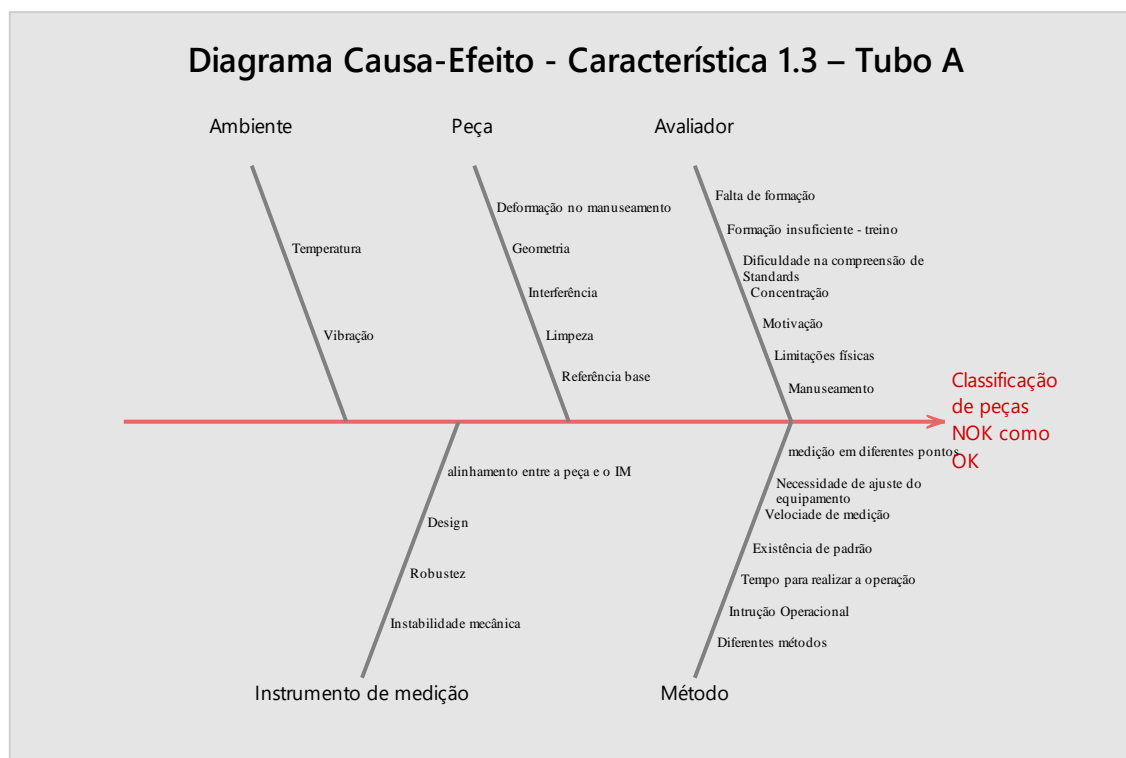


Figura 61 - Diagrama Causa -Efeito

Causa fundamental: O IM permite que o operador classifique uma peça NOK como OK devido a permitir classificar como P no NP, caso seja realizada muita força deformando a zona onde é medida a característica.

Desta análise ainda surgiu uma causa para desvios na operação de inspeção, associado ao tempo despendido na secção dos tubos de cobre. A ausência de postos de controlo ou a partilha entre avaliadores provenientes de processos diferentes representa uma dificuldade e causa desmotivação para o controlo de características da qualidade. Apesar de não ser uma causa fundamental mas representar uma oportunidade de melhoria fácil de implementar através a construção de postos de controlo e/ou duplicação de meios foi considerada importante para ser trabalhada.

Característica 3 - referência 1

Para chegar à causa raiz do problema realizou-se em equipa uma análise recorrendo aos 5 Porquês, a tabela 20 é o resultado.

Tabela 20 - Análise 5 Porquês? - Referência 1

	Porquê?	Resposta
1	Por que 19% de variação na medição deve-se ao equipamento?	Por que é difícil para os operadores usar um micrómetro de interiores
2	Por que é que causa dificuldades a usar?	Por que é necessário realizar uma calibração antes de usar
3	Porquê é que não é fácil realizar esse procedimento?	Por que implica o avaliador introduzir valores manualmente
4	Por que demora muito tempo a calibração?	Devido às características do visor do e botões de ajuste do IM;
5	Por que é difícil manusear os botões e ler o visor?	Por que são pequenos e avaliador demora muito tempo

Ainda durante a análise das causas possíveis para o desvio, a motivação para a operação de inspeção por parte dos avaliadores devido ao deslocamento necessário efetuar para realizar o controlo foi outra vez apontado como um complemento à desmotivação associada à dificuldade em manusear o IM.

Causa fundamental: Dificuldade por parte dos avaliadores em realizar o zero no IM corretamente devido a dificuldades no seu manuseamento.

3.2.4 Etapa 4 – Melhorar

Na fase Melhorar da aplicação do DMAIC foram feitos dois *workshops*, com vários elementos da equipa do projeto para gerar ideias para definir soluções para a eliminação das causas fundamentais e consideradas importantes identificadas na etapa anterior. Após a seleção das ideias a adotar procedeu-se ao desenvolvimento, conceção e aplicação das soluções.

Característica 4 – Referência 2

Para a característica em questão uma vez que a causa para o desvio é falta de cumprimento de um *standard* já definido, realizou-se uma ação de sensibilização juntos dos responsáveis de turno de modo a que estes pudessem realizar de novo a formação em relação ao método de inspeção de modo a reduzir a variabilidade nas medições. Uma vez que tratou-se do problema prioritário, foram aplicadas outras melhorias à volta deste SM, a pedido da organização, apresentadas de seguida.

Definição de novo *standard* para IM

A existência de vários conceitos para IM para referências da família de componentes X, revelou a ausência de um *standard* para a conceção de novos meios. A ferramenta usada para a geração de ideias para resolver este problema foi a realização de um *workshop*, dirigido pelo autor deste trabalho com alguns membros envolvidos no projeto. Estiveram presentes responsáveis operacionais e de turno, suporte de engenharia, tempos e métodos e um SME. Previamente à realização do *workshop* foi feito um levantamento dos tipos de IM existentes, como pode ver-se na figura 62.

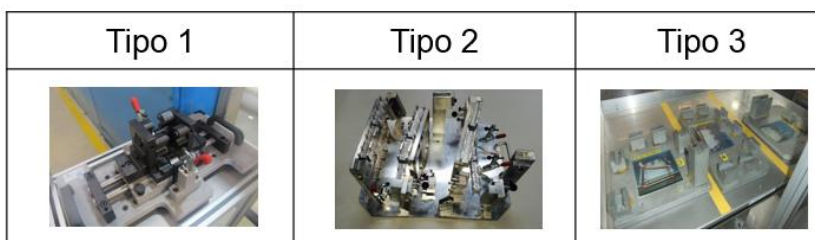


Figura 62 - Diferentes tipos de conceitos de IM para a mesma família de produtos

Após a identificação e de modo adquirir dados objetivos acerca do tema, realizou-se um teste que consistiu em comparar o tempo despendido na operação de inspeção entre três pessoas que nunca tinham operado com o IM e um operador experiente que opera muita regularidade com os equipamentos. A tabela 21, resume o resultado do ensaio, comparativamente com o operador experiente o IM do tipo 1 foi o que os resultados ficaram mais próximos. Mesmo sem experiência e após executar 25 testes os “operadores inexperientes” conseguiram atingir a performance de um operador treinado. Para este teste usou-se o mesmo IM, o método de controlo foi explicado de igual forma aos três participantes através das instruções operacionais já existentes e foram feitas 25 medições às mesmas peças, sendo os valores apresentados a média das observações.

Tabela 21 - Resumo do Ensaio

Calibre		T/C (s) P1	T/C (s) P2	T/C (s) P3	T/C (s) Operador
Tipo 1		18.9	19	23.4	21.37
Tipo 2		48.0	46.5	34.4	45.5
Tipo 3	3.1	60.0	53.3	55.5	56.2
	3.2	58.3	53.00	64,2	46.08

Para além o teste anteriormente explicado ainda apresentou-se à plateia os dados dos defeitos no cliente, devido a não conformidades referentes às características controladas pelos IM em questão. Sendo que o IM do tipo um é o que apresentou a percentagem menor de defeitos no cliente, a figura 63 ilustra o resumo da análise referente aos meses compreendidos entre Janeiro e Março. Ainda foi tido em consideração a opinião dos responsáveis de turno e operacionais em relação ao conceito a adotar um vez, que a experiência operacional e o *feedback* de diversos operadores acerca do uso destes IM é considerada importante e valiosa apesar de ser empírica.

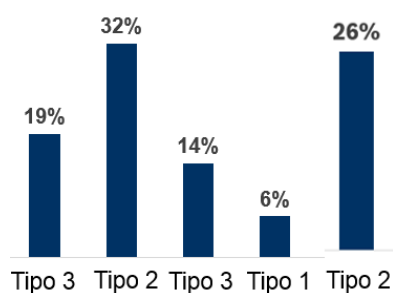


Figura 63- Análise Janeiro - Março

Após toda a análise e exposição/partilha de informação entre os participantes, adotou-se um *standard* para os novos IM a desenvolver em projetos futuros que seria a adoção do conceito do tipo 1 por ser fácil de implementar. Esta informação foi transmitida a toda a equipa de suporte das áreas em estudo e o material do *workshop* foi arquivado. A apresentação utilizada no *workshop* encontra-se na íntegra no anexo B.

Criação de um *standard* a operação de inspeção

Aquando de um desvio de qualidade apesar de termos o RPC, das características críticas para a qualidade, não temos a peça fisicamente para verificar o seu estado e poder fazer testes mais alargados de modo a conseguir aferir a causa raiz do desvio. Esta lacuna foi um problema identificado pelo autor deste trabalho através de observação, e foi levada à equipa envolvida no projeto para verificar a pertinência. Foi consensual que este *standard* iria trazer benefícios em termos da resolução de problemas de qualidade. Foi então criado o *standard* de deixar a última peça controlada no IM de medição para o caso de este ser um P/NP, nos postos de controlo onde não é possível deixar no IM foram criadas internamente com o suporte do ferramenteiro João Pardinha condições para o fazer. A figura 64 é um exemplo da aplicação em um posto de controlo da S842, onde foi criado um suporte para pendurar as

peças controladas, uma tina para retenção do óleo e foram usadas as caixas azuis devidamente identificadas para peças onde não era possível deixar no IM as ultimas peças controladas. A aplicação da gestão visual foi muito bem aceite pelos utilizadores dos postos de controlo. Todos estes procedimentos foram documentados em instruções operacionais e afixadas nos respetivos postos.



Figura 64 - Aplicação de *standard* por meio de Gestão Visual

Ainda dentro da temática da aplicação de *standards*, e no âmbito do desdobramento deste projeto, de modo a melhorar os SM da S842 foram realizadas IVC para todos os planos de controlo existentes na secção. Com o objetivo de auxiliar e reduzir a ambiguidade da interpretação do método de controlo, anteriormente apenas algumas características tinham uma instrução operacional (IO) com fotos a exemplificar como proceder à operação de inspeção, as imagens 65 e 66 exemplificam algumas das IVC realizadas pelo autor.



Figura 65 - Exemplo de IVC

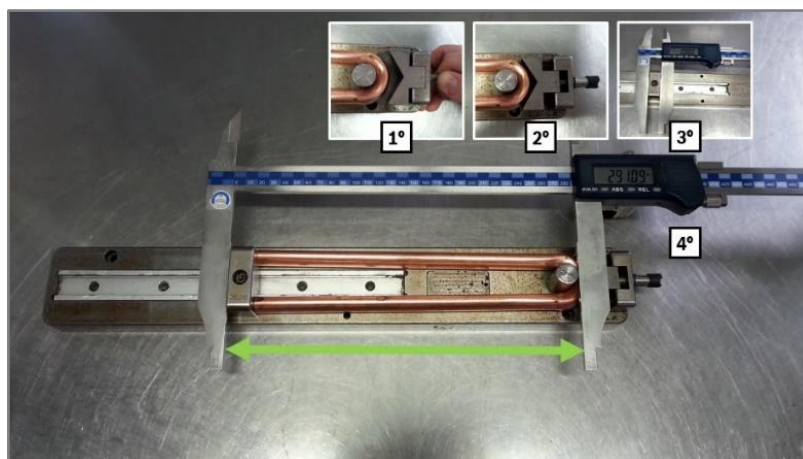


Figura 66 - Exemplo de IVC

Posto de controlo F3/F5

Um dos problemas identificados na S843 foi a deslocação que os operadores tinham que fazer para proceder à operação de inspeção. A duplicação do posto e a sua alteração para dentro da célula foi a solução encontrada. As vantagens de trazer o posto para dentro da célula é que desta forma os produtos já são armazenados no supermercado. Ao duplicar o posto e colocando à saída do F3, o operador deixa de fazer uma deslocação total de 6 m, sempre que tem que efetuar a operação de inspeção. O resultado destas alterações pode ser visto nas figuras 67 e 68.

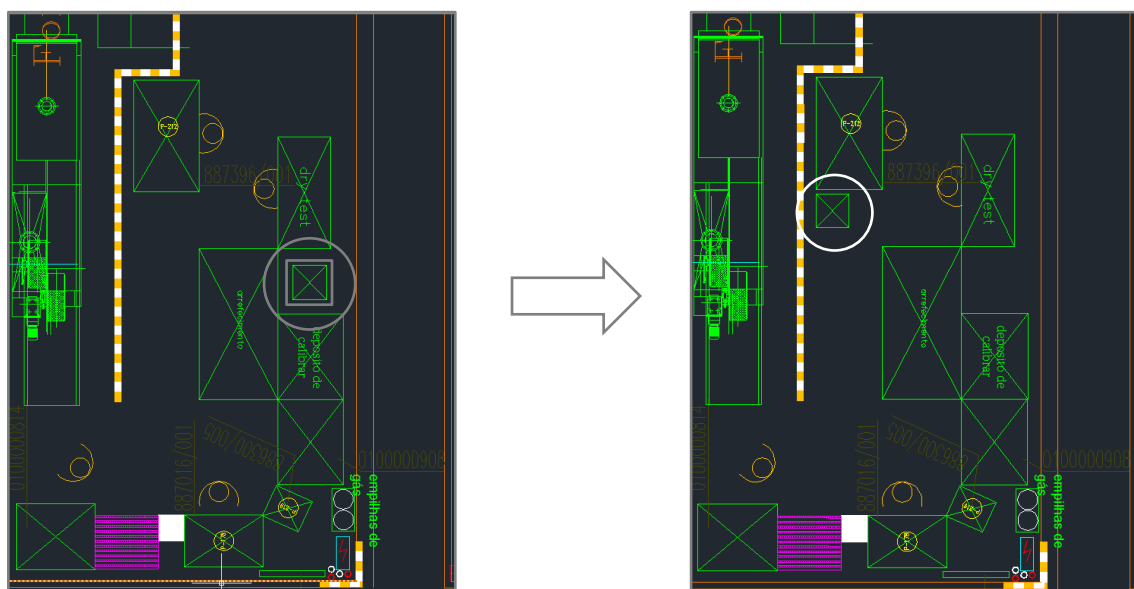


Figura 67 - Alteração posto de controlo F5

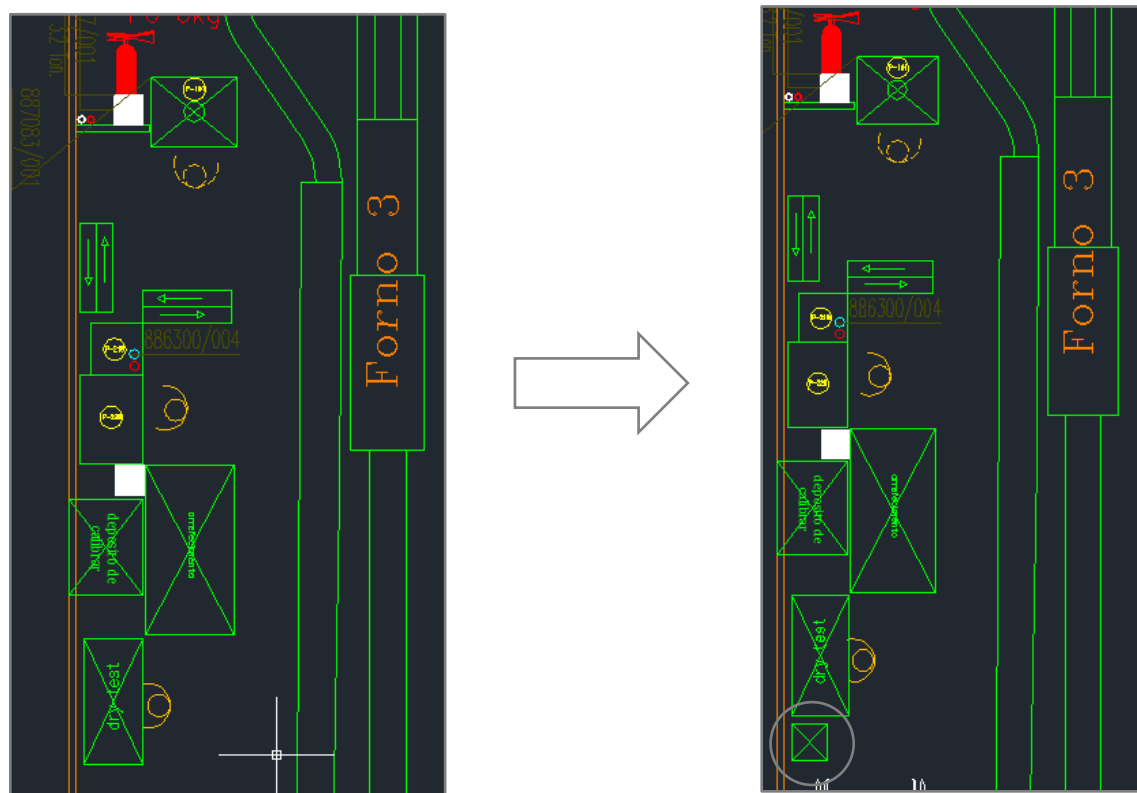


Figura 68 - Alteração posto de controlo F3

Característica 1.3 – Tubo A

O IM atual/futuro

A causa do resultado da análise ao SM do tubo A, revelou que o IM permite que o operador classifique uma peça NOK como OK devido a permitir classificar como P no NP, caso seja realizada muita força durante a colocação da peça, deformando a zona onde é medida a característica. Uma vez que a matéria-prima utilizada no fabrico dos tubos é o cobre, a maleabilidade do material nas etapas iniciais do processo é elevada. Assim sendo a deformação provocada pelo exercício de força ao realizar a operação de inspeção por parte do operador pode sempre ocorrer. De forma a evitar esta situação e uma vez que apenas nesta característica é que este facto é observado, optou-se pela alteração do IM presente no posto de controlo. Passando de um instrumento de medição por atributo para um por variável, o IM utilizado foi um paquímetro digital, já utilizado para inspeção de características semelhantes. Optou-se por esta solução devido a ser uma alteração sob o controlo da organização, de efetividade imediata e que permite aferir numa escala contínua se a peça está dentro ou fora de especificação.

Ausência de postos de controlo/deslocação

Um dos problemas identificados na etapa Analisar foi a ausência de postos de controlo na secção S843. Neste sentido e como solução para esta situação realizou-se o desenho dos

postos, simulou-se a sua localização e procedeu-se à alteração de *layout* de modo a implantá-los. A simulação realizada foi feita com o objetivo de quantificar os ganhos em termos de disponibilidade do operador. O cenário futuro que foi usado para realizar a simulação foi desenhado pelo autor deste trabalho e testado com o recurso ao *software* de simulação *Arena*. Para além deste cenário foram desenvolvidos outros dois, tendo estes sido validados por um SME, e dadas algumas limitações em termos de área disponível chegou-se a um consenso que a solução representada na figura 71 seria a solução a implementar. O outro cenário pode ser encontrado no anexo E. A simulação surgiu como ferramenta de teste e quantificação de ganhos, o modelo conceptual realizado encontra-se no anexo E deste documento.

Na situação inicial a secção tinha um posto de controlo por área do processo de fabrico. Sendo que o operador da área de corte e dobragem deslocava-se para o posto de controlo existente na zona representada com um 3, como se pode verificar na figura 69 com alguma frequência quando estava a operar as máquinas na zona representada com um 1, devido aos equipamentos de teste estarem lá armazenados. O mesmo acontecia com o operador das máquinas da zona 2. A tabela 22 representa deslocamento atual que um operador realiza para inspecionar o tubo B. Os valores foram fornecidos pelo membro da equipa de tempos e métodos, e representam as médias, de valores previamente recolhidos. Os tempos e distâncias representados são apenas para a ida, não contempla o tempo para regressar ao posto de trabalho.

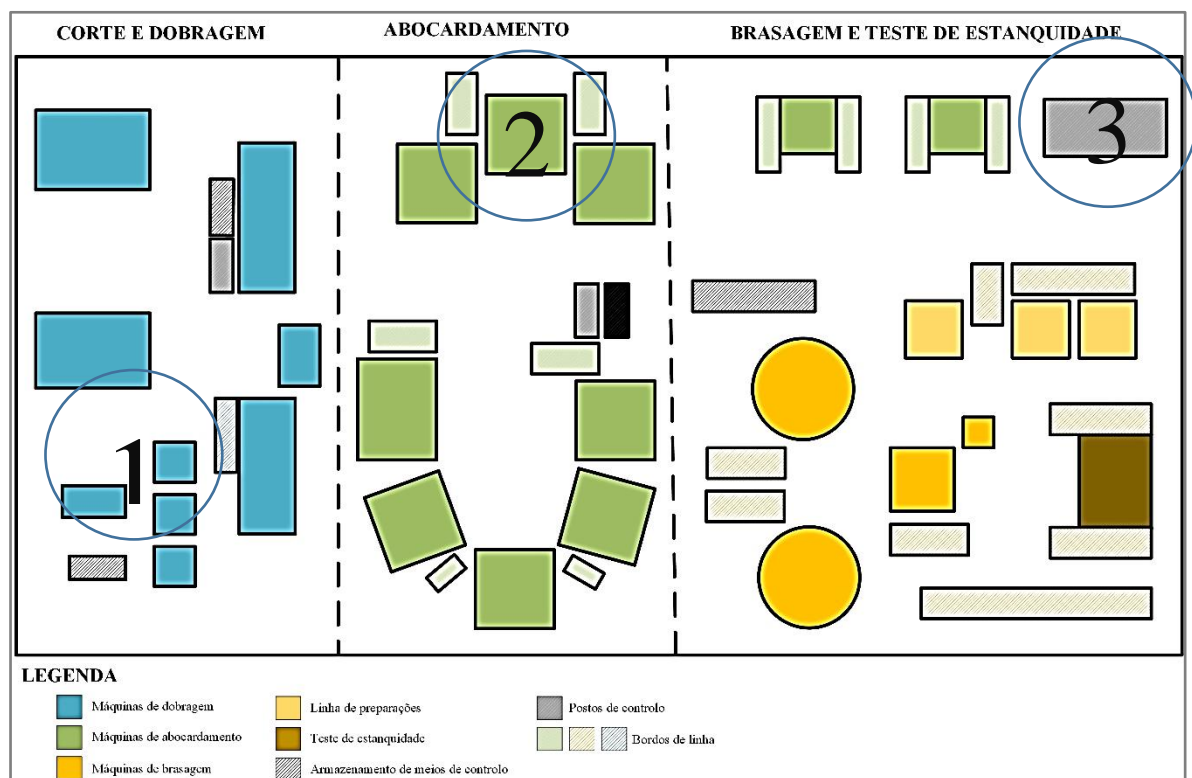


Figura 69 - Situação Inicial Postos de Controlo S843

Tabela 22 - Tempo e distância - situação inicial

Etapas do processo	Distância (m)	Tempo (s)
Corte e Dobragem	7	12,6
Abocardamento	4,5	8,1
Brasagem e teste de estanquidade	1,5	2,7

A figura 70 representa os postos de controlo da zona 3 existentes na situação inicial.



Figura 70 - Postos de Controlo existentes na situação inicial

No decorrer deste projeto colocou-se um armário maior na zona de corte e dobragem, criou-se um posto de controlo novo na zona 4 e acondicionaram-se os meios de controlo que estavam em 6. O posto que inicialmente estava em 3 manteve-se inalterado. A localização dos novos postos permitiu um aumento de disponibilidade do operador em 9,9s do corte e dobragem e 4,5 na zona de abocardamento, como representado na tabela 23. Os dados do tempo de deslocação foram cedidos pelo elemento de tempos e métodos e através da mensuração da simulação de 30 deslocações. A figura 71 representa a disposição dos novos posto de controlo após a sua implementação.

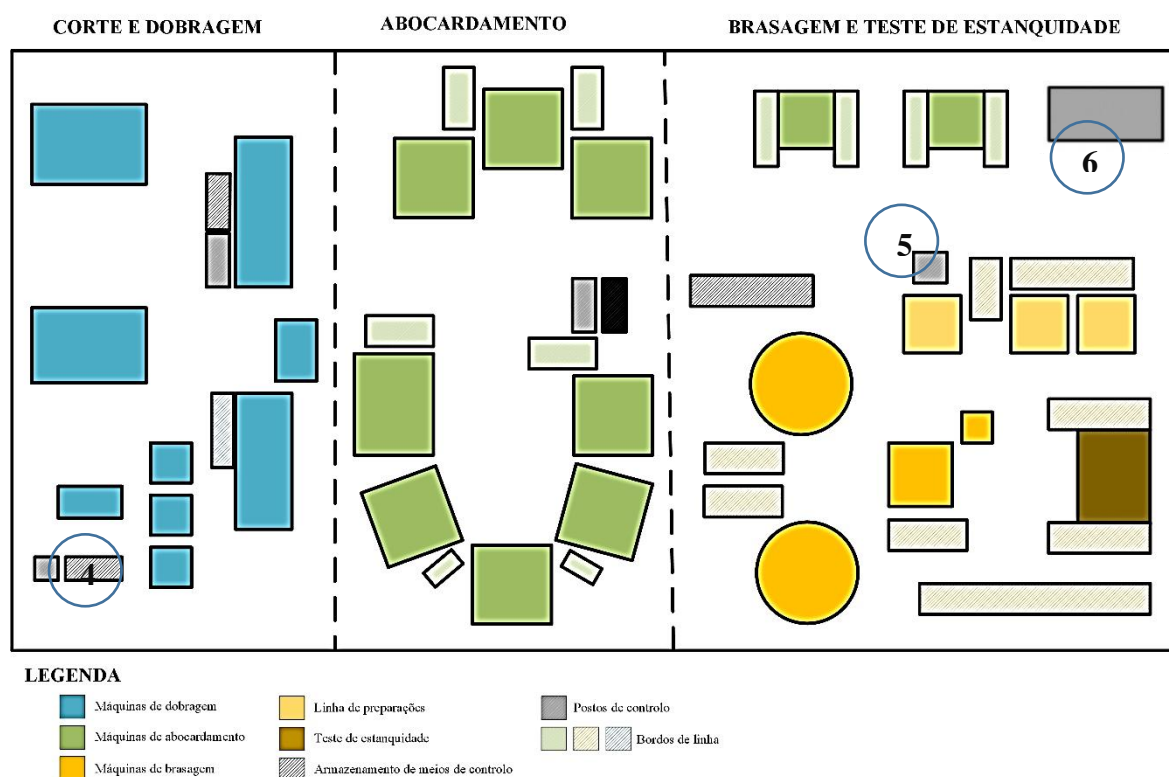


Figura 71 - Situação futura (implementada)

Tabela 23 - Deslocamento atual que um operador realiza para inspecionar

Etapa do processo	Distância (m)	Tempo final (s)	Tempo inicial (s)	Delta (s)
Corte e Dobragem	1,5	2,7	12,6	9,9
Abocardamento	2,0	3,6	8,1	4,5
Brasagem e teste de estanquidade	1,5	2,7	2,7	0

Após a implementação dos novos postos de controlo representados por 4 e 5 na figura 71, a dinâmica de funcionamento nas áreas de corte e dobragem, abocardamento e brassagem de estanquidade alteram. Os operadores da área de corte e dobragem passaram a realizar todas as operações de inspeção sem ter que sair da respetiva área. Isto porque passaram a ter todos os instrumentos de medição (IM) disponíveis e acessíveis junto do novo posto de controlo. A necessidade que os operadores da área de abocardamento de deslocar-se para a área de Brassagem e teste de estanquidade também foi reduzida, passando a usar o posto de controlo representado por 5 na figura 71.

Os postos de controlo construídos foram concebidos respeitando todas as regras de ergonomia definidas no manual existente para o efeito. A figura 72 diz respeito à versão de projeto desenvolvida pelo autor e a 73 à versão final de um dos postos de controlo. Um elemento da equipa de tempos e métodos responsável pela ergonomia validou os postos na fase de projeto e na receção de modo a garantir a conformidade dos mesmos. A tabela 24 representa os pontos que foram verificados.

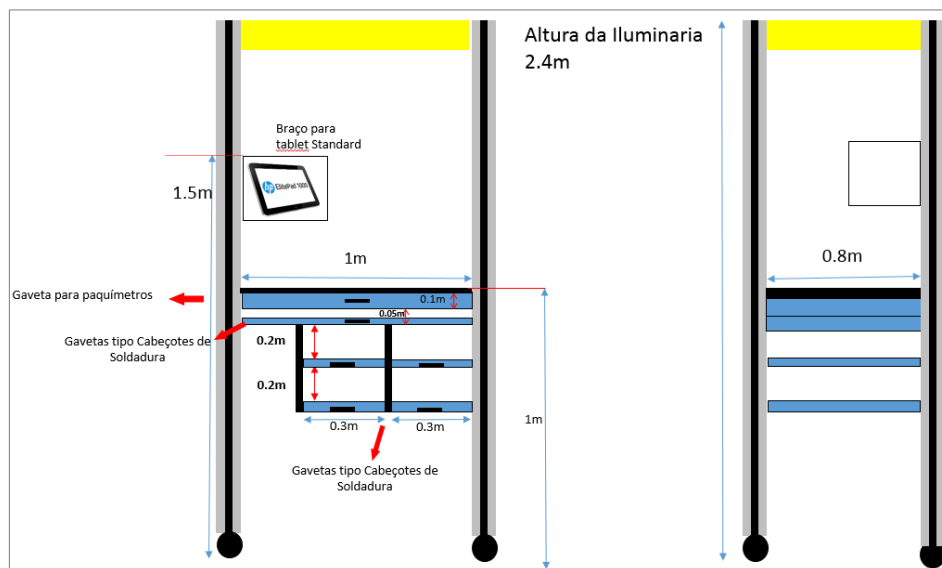


Figura 72 - Projeto Novos postos de controle



Figura 73 - Versão final de um posto de controlo já implementada na seção

Tabela 24 - Aprovação do Posto de Controlo

Altura da área de trabalho do posto		Altura da Luminária	
Dimensão de referência (mm)	Atual	Dimensão de referência (mm)	Atual
1000-1250	1000	2400	2400

A partir da simulação foi possível testar alterações no *layout* sem ter que as concretizar fisicamente. O estudo de simulação permitiu concluir que através da redução do deslocamento dos operadores para efetuar a operação de inspeção aumentou-se a disponibilidade dos operadores para produzir peças. Ou seja a taxa de ocupação do recurso operador manteve-se igual apenas dedicado mais tempo na operação de fabrico.

Característica 3 - referência 1

Desenvolver um IM tipo P/NP

A dificuldade por parte dos avaliadores em realizar o zero no IM corretamente devido a dificuldades no seu manuseamento foi identificada na etapa anterior da aplicação do DMAIC. Uma solução encontrada para esta dificuldade foi a alteração do tipo de IM, ou seja passar de um IM por variável para um que classifica-se as peças por atributo. Para validar esta solução, realizou-se um estudo MTM para o IM anterior e o novo a desenvolver. A análise foi realizada pela responsável de tempos e métodos envolvida no projeto. A partir dessa análise concluiu-se que ao passar de um IM para outro representaria uma redução de 10 segundos na operação de inspeção face à situação inicial. Mais uma vez por uma questão de confidencialidade o estudo não pode ser apresentado na íntegra. O novo IM, figura 74, foi da autoria do autor tendo sido utilizado um *software* de modelação 3D para a realização do mesmo. A aquisição do equipamento foi realizada pelo departamento e a construção ficou a cargo de um fornecedor externo. O desenho técnico do IM pode ser encontrado no Anexo D.

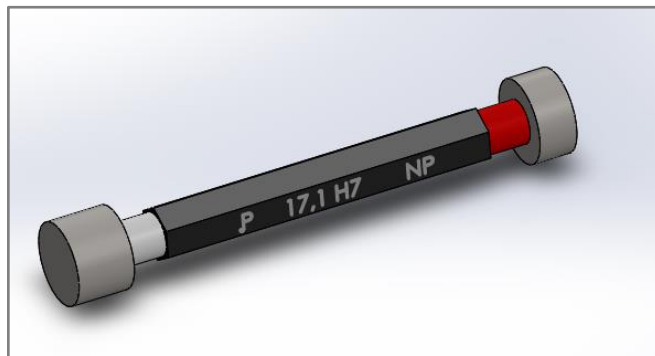


Figura 74 - IM tipo OK/NOK

Desenvolvimento de suporte para *Tablet*

O projeto IVC implica a utilização de um *Tablet* para efetuar o RPC que até à implementação do projeto era feito com recurso a folhas de papel. Na secção S843, tubos de cobre, a maior parte das peças têm óleo de lubrificação por questões de processo. O óleo com o tempo iria danificar os *Tablet* e assim sendo houve a necessidade de pensar no que podia ser feito para que esta situação não ocorresse. A idealização da solução a adotar partiu do autor num *workshop* realizado pelo mesmo para o efeito, que pode ser visto no Anexo C. O desenho e conceito foi desenvolvido pelo autor, sendo que a construção e desenvolvimento de um protótipo foi realizada por um fornecedor externo. A ideia consiste em desenvolver um braço articulado, possível de se fixar em qualquer posto de trabalho ou máquina, com a flexibilidade suficiente para ser colocado facilmente em qualquer posição. Este braço associado ao uso de uma caneta, própria para o efeito permite que os operadores não tenham que retirar as luvas de cada vez que têm que fazer um controlo, uma vez que existem referências com uma frequência de 12 em 12 peças. Com esta solução, os *Tablet* nunca estão expostos diretamente ao óleo lubrificante. Esta solução não foi apenas adotada na S843, mas

em toda a fábrica. Uma vez que por razões de proteção de dados não é possível mostrar o desenho técnico do equipamento, a figura 75 exemplifica o produto final já em uso na S843.



Figura 75 - Suporte desenvolvido já implementado na seção

3.2.5 Etapa 5 – Controlar

Na fase Controlar da aplicação do DMAIC testou-se o alcance das metas definidas, através da aplicação da MSA. A metodologia foi aplicada para verificar se houve melhoria no SM da característica 4 da referência 2 e a eficácia da implementação no novo IM para a característica 3 da referência 1.

Característica 4 – Referência 2

Part Number	Gage Name		Appraiser A	
Referência 2	Graminho		Ricardo	
Part Name	Gage Number		Appraiser B	
Referência 2	N/A		Miguel	
Characteristic	Specification	Gage Type	Appraiser C	
Altura	318 -0,5 1,5	N/A	Nuno	
Characteristic Classification	Trials	Parts	Appraisers	Date Performed
	3	10	3	07/04/2017

APPRAISER/ TRIAL #	PART										AVERAGE
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1. A 1	318,63	318,61	318,40	318,42	318,85	318,49	318,55	318,49	318,61	318,55	318,560
2. 2	318,60	318,61	318,36	318,40	318,81	318,50	318,50	318,46	318,60	318,51	318,535
3. 3	318,60	318,65	318,40	318,43	318,80	318,50	318,54	318,50	318,65	318,53	318,560
4. AVE	318,61	318,62	318,39	318,42	318,82	318,50	318,53	318,48	318,62	318,53	$\bar{X}_a =$ 318,552
5. R	0,03	0,04	0,04	0,03	0,05	0,01	0,05	0,04	0,05	0,04	$r_a =$ 0,038
6. B 1	318,65	318,62	318,35	318,40	318,80	318,49	318,57	318,55	318,63	318,55	318,561
7. 2	318,71	318,60	318,40	318,41	318,80	318,50	318,55	318,58	318,61	318,51	318,567
8. 3	318,65	318,61	318,33	318,40	318,82	318,50	318,51	318,58	318,60	318,54	318,554
9. AVE	318,67	318,61	318,36	318,40	318,81	318,50	318,54	318,57	318,61	318,53	$\bar{X}_b =$ 318,561
10. R	0,06	0,02	0,07	0,01	0,02	0,01	0,06	0,03	0,03	0,04	$r_b =$ 0,035
11. C 1	318,65	318,65	318,40	318,40	318,81	318,51	318,50	318,50	318,60	318,51	318,553
12. 2	318,60	318,62	318,41	318,43	318,81	318,55	318,51	318,49	318,60	318,55	318,557
13. 3	318,65	318,60	318,40	318,40	318,78	318,50	318,54	318,50	318,60	318,50	318,547
14. AVE	318,63	318,62	318,40	318,41	318,80	318,52	318,52	318,50	318,60	318,52	$\bar{X}_c =$ 318,552
15. R	0,05	0,05	0,01	0,03	0,03	0,05	0,04	0,01	0,00	0,05	$r_c =$ 0,032
16. PART AVE (\bar{X}_p)	318,64	318,62	318,38	318,41	318,81	318,50	318,53	318,52	318,61	318,53	$\bar{X} =$ 318,555 $R_p =$ 0,426
17. ($r_a + r_b + r_c$) / (# OF APPRAISERS) =											$R =$ 0,035
18. (Max X - Min X) =											$X_{DIFF} =$ 0,009
19. $R \times D_4^* =$											$UCL_R =$ 0,090
20. $R \times D_3^* =$											$LCL_R =$ 0,000

Figura 76 - Folha de recolha de dados - Referência 2 - Característica 4, após melhoria

Measurement Unit Analysis				% Total Variation (TV)	
Repeatability - Equipment Variation (EV)				% EV = 100 (EV/TV) = 100(0.000/0.001) = 15,30	
EV	=	R x K ₁	Trials		
	=	0.000 x 3,05	2		
	=	0,107	3		
Reproducibility - Appraiser Variation (AV)				% AV = 100 (AV/TV) = 100(0.000/0.001) = 2,08 n = number of parts r = number of trials	
AV	=	$\{(X_{DIFF} \times K_2)^2 - (EV^2/nr)\}^{1/2}$	Appraisers		
	=	$\{(0.000 \times 2,7)^2 - (0.000^2/(10 \times 3))\}^{1/2}$	2		
	=	0,015	3		
Repeatability & Reproducibility (R & R)				% R&R = 100 (R&R/TV) = 100(0.000/0.001) = 15,44 <i>Gage system may be acceptable</i>	
R & R	=	$\{(EV^2 + AV^2)\}^{1/2}$	Parts		
	=	$\{(0.000^2 + 0.000^2)\}^{1/2}$	2		
	=	0,108	3		
Part Variation (PV)				% PV = 100 (PV/TV) = 100(0.001/0.000) = 98,80	
PV	=	R _p x K ₃	4		
	=	0.000 x 1,62	5		
	=	0,689	6		
Total Variation (TV)					
TV	=	$\{(R\&R^2 + PV^2)\}^{1/2}$	7		
	=	$\{(0.000^2 + 0.001^2)\}^{1/2}$	8		
	=	0,698	9		
			10		

Figura 77 - Tabela Resumo resultados - Referência 2 - Característica 4, após melhoria

Após a aplicação do MSA, verificou-se que houve uma melhoria significativa no SM. As figuras 76 e 77 representam os dados recolhidos e os resultados após tratamento dos mesmos, com o auxílio do *software Minitab*. Para facilitar a interpretação realizou-se a tabela 25 de modo a resumir as diferenças entre as principais métricas.

Tabela 25 - Comparação dos resultados do MSA, entre a situação inicial e final

Métrica	Situação Inicial	Situação final
%EV	47,14	15,30
%AV	2,16	2,08
%RR	47,19	15,44
%PV	88,17	98,80
ndc	~3	~9

Na situação inicial a variação devido ao IM, ao avaliador, e à combinação da repetibilidade e reprodutibilidade era maior face aos resultados alcançados. A variação devida ao equipamento diminuiu 31,84%, e o valor de %RR para 31,75%, sendo estes os resultados mais significativos. A variação devido ao avaliador não sofreu uma grande diminuição, sendo a melhoria considerada insignificativa. No entanto este valor já era baixo e satisfatório na situação inicial. Um ponto importante de salientar é o valor de *ndc* que o IM passou a conseguir distinguir. A variação da peça está associada com a própria variação do processo produtivo.

Característica 3 - referência 1

Após o desenvolvimento de um novo IM foi realizada uma análise de concordância para a característica 3 da referência 1, como se pode analisar na figura 78. Com esta aferiu-se que o SM tem uma taxa de erro de 4,9%, apenas 7,0% das peças OK foram classificadas como NOK, que 0% das peças NOK foram classificadas como OK, a mesma peça foi classificada como OK e NOK 12,7%. Os avaliadores conseguiram avaliar de acordo com o padrão 95,1% dos itens medidos. Todos os avaliadores apresentam uma precisão que ronda os 95%. A tabela 26 resume a informação acima descrita.

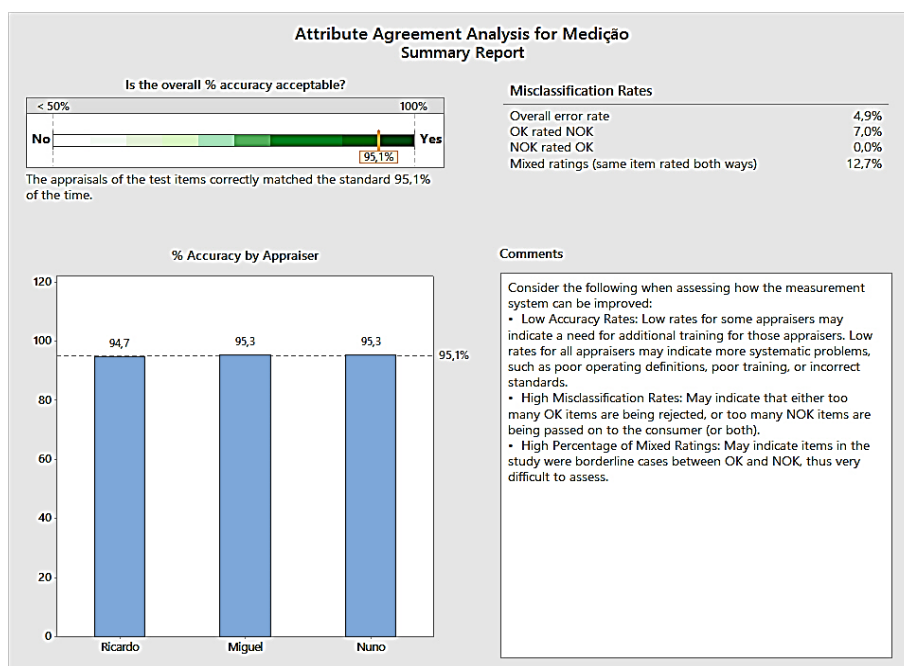


Figura 78 - Resumo Análise de concordância - Característica 3 - Referência 1

Tabela 26 - Resumo análise de concordância do novo IM

Análise de Concordância					
Característica	Taxa de erro (%)	Peças OK classificadas como NOK (%)	Peças NOK classificadas como OK (%)	Precisão (%)	Eficácia (%)
Característica 3 – referência 1	4,9	7,0	0	12,7	95,1

Após a implementação de todas as fases da metodologia DMAIC, verificou-se o alcance das metas definidas anteriormente. A tabela 27, apresenta esse resultado. Para a característica 4 da referência 2, o objetivo era reduzir o valor de %GRR para uma valor inferior a 10%, tal não foi possível ficando 4,44% do objetivo. Ainda assim e face à situação inicial houve uma melhoria de 47,19% para 14,44%. Segundo os critérios de aceitação de um SM, um valor de 14,44% indica que o SM pode ser aceitável. Após discussão em equipa acordou-se que para a finalidade do SM este valor é aceitável, ficando uma oportunidade de melhoria para

trabalhos futuros. Com o desenrolar do projeto a análise do novo SM definido para a característica 1.3 do tubo A, definida com prioridade 2, não foi realizada por uma questão de opção da organização, baseado nos resultados existentes para aplicações semelhantes em outras referências. Em relação à aplicação do novo IM para a característica 3 da referência 1 a meta relativa à precisão foi cumprida ficando apenas a taxa de erro fora do objetivo. Uma vez que o valor da taxa de erro deve-se apenas à classificação de peças OK como NOK o novo SM foi aceite pela equipa do projeto.

Tabela 27 - Alcance das metas

Metas			
Prioridade	Característica / Referência	Meta inicial	Resultado alcançado
1	Característica 4 - Referência 2	%GRR < 10%	14,44%
2	Característica 1.3 – Tubo A	%GRR < 10%	Não quantificada
3	Característica 3 - referência 1	Precisão $\geq 90\%$ e taxa de erro $\leq 2\%$	Precisão - 95,1% taxa de erro -4,9%

4. Considerações finais e perspectivas de trabalho futuro

O foco das organizações em reduzir a quantidade de recursos e o desperdício associados às suas operações é o que as torna capazes de ser mais competitivas. A redução dos custos associados às operações de inspeção leva a um aumento da eficiência e consequentemente da competitividade. Foi neste enquadramento que se desenvolveu o trabalho exposto neste documento, ao nível da melhoria do SM da BTT.

A metodologia DMAIC foi utilizada para avaliar e melhorar vários SM existentes nas secções de fabrico de tubos de cobre e CC da BTT. Durante a aplicação da metodologia as ações realizadas para melhorar o SM não foram apenas as encontradas pelo autor a partir da análise dos dados recolhidos e dos problemas identificados como prioritários. Uma vez que um SM é composto por vários elementos e não apenas a peça, o avaliador e o IM, o autor com o suporte da equipa envolvida no projeto realizou melhorias que foram consideradas importantes para o próprio e para a organização. No futuro seria interessante de um ponto de vista de continuidade do trabalho desenvolvido, realizar um *standard* de aplicação da MSA de modo a detetar variações no SM e poder realizar ações corretivas ou de melhoria.

Uma melhoria que não foi possível de aplicar por exigir um desenvolvimento e conceção mais elevado foi o desenvolvimento de um IM por atributo para reduzir a variabilidade nas medições realizadas para quantificar a característica 4 da referência 2. Em um dos *workshops* realizados foi sugerido pelo autor realizar um IM do tipo OK/NOK uma vez que existem várias referências de elevada cadência que partilham esta característica crítica de qualidade. A proposta pode ser encontrada no anexo C, nas páginas 9 e 10 dos diapositivos. A aplicação do MSA centrou-se na análise de concordância entre avaliadores nos SM por atributo e no método das médias e amplitudes para SM por variável. Ainda como trabalho futuro o estudo da tendência e da linearidade das características identificadas como prioritárias poderia ser realizado de modo a obter mais informação acerca do processo de medição.

A ferramenta MSA já existe na organização, no entanto a sua utilização não é feita de forma regular. Por norma quando é desenvolvido e implementado um novo IM não é realizada uma análise MSA. Quando surge a oportunidade de identificar melhorias nos SM esta ferramenta não é vista como opção. Numa perspetiva de trabalho futuro seria interessante desenvolver, por exemplo, *workshops* ou ações de divulgação internas para apresentar a ferramenta e mostrar o potencial de identificação de melhorias nos SM. Usando como exemplo o projeto realizado nas duas secções presente neste documento, e expandir para outras secções dentro da organização. A aplicação do DMAIC, permitiu alcançar ganhos ao nível do tempo associado à operação de inspeção, autonomia dos operadores em relação meios de inspeção e robustez do SM.

5. Referências Bibliográficas

- Abhishek Jain, Rajbir Bhatti & Harwinder Singh, (2014) "Total productive maintenance (TPM) implementation practice: A literature review and directions", *International Journal of Lean Six Sigma*, Vol. 5 Issue: 3, pp.293-323, <https://doi.org/10.1108/IJLSS-06-2013-0032>
- Ahmad, M., Zakuan, N., Jusoh, A. and Takala, J. (2012). Relationship of TQM and Business Performance with Mediators of SPC, Lean Production and TPM. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 65, pp.186-191. Acedido Dezembro 15, 2016, em https://www.researchgate.net/publication/257718228_Relationship_of_TQM_and_Business_Performance_with_Mediators_of_SPC_Lean_Production_and_TPM.
- Asq.org. (2017). *Quality Glossary - Q / ASQ*. Acedido Fevereiro 7, 2016 em <https://asq.org/quality-resources/quality-glossary/q>.
- Bosch Portugal. (2016). Bosch em Portugal. Acedido Maio 21, 2016, em http://www.bosch.pt/pt/pt/our_company_10/our-company-lp.html.
- Bosch Termotecnologia, S.A. (2016). Consultado 16 de Janeiro de 2016, em Intranet.
- Becker, Selwyn W. TOM does work: ten reasons why misguided attempts fail (discussion of O. Harari's Jan. 1993 article). *Management Review*, Saranac Lake, v. 82, n. 5, p. 30, Maio 1993.
- Bergman, B. & Klefsjö, B. (2003). *Quality from Customer Needs to Customer Satisfaction*. Second Edition. Studentlitteratur, Lund.
- Bergquist, B., Garvare, R., & Klefsjö, B. (2007). Quality management for tomorrow. In K. J. Foley, D. A. Hensler, & J. Jonker (Eds.), *Quality management and organizational excellence: oxymorons, empty boxes, or significant contributions to management thought and practice?* (p. 253-286). Sydney: SAI Global.
- Brue, G. (2002). *Six Sigma for Managers*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Bengt Klefsjö, Håkan Wiklund, Rick L. Edgeman, (2001) "Six sigma seen as a methodology for total quality management", *Measuring Business Excellence*, Vol. 5 Issue: 1, pp.31-35. Acedido Maio 21, 2016, em <https://doi.org/10.1108/13683040110385809>.
- Borrer, C. (2008). *Certified Quality Engineer Handbook* (3rd Edition). American Society for Quality.
- Crosby, P. B. (1979). *Quality is free: The art of making quality certain*. New York: McGraw-Hill.
- Davis, P. (1999). *Managing the cooperative difference* (p. 46). Geneva: International Labour Office.

Department of Trade and Industry. (s.d). The Evolution of Quality. Acedido Janeiro 20, 2016, em http://www.businessballs.com/dtiresources/quality_management_history.pdf.

Dicionário da Língua Portuguesa com Acordo Ortográfico. (2016). Acedido Setembro 20, 2016, em <http://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/terminologia>.

Down, M., Gruska, G., Czubak, F., Stahley, S., & Benham, D. (2010). *Measurement System Analysis* (4ª ed.). Southfield, Michigan: Automotive Industry Action Group.

Dusharme, D. (2006). Six Sigma Survey: Big Successy What About Other 98 Percent? Acedido Dezembro 4, 2012, em http://www.qualitydigest.com/feb03/articles/01_article.shtml.

Eisenhart, C. (1969). Realistic evaluation of the precision and accuracy of instrument calibration systems. *Precision measurement and calibration: statistical concepts and procedures*, 21-47. Acedido em http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/jres/67C/jresv67Cn2p161_A1b.pdf.

Gygi, C., DeCarlo, N., & Williams, B. (2005). *Six sigma for dummies*. Hoboken, NJ: Wiley Pub.

Hellsten, U. & Klefsjö, B. (2000). TQM as a management system consisting of values, techniques and tools. *Measuring Business Excellence*. Acedido Janeiro 6, em <https://doi.org/10.1108/09544780010325822>.

History of Quality – ASQ. (2016). *Asq.org*. Acedido Janeiro 20, 2016, em <http://asq.org/learn-about-quality/history-of-quality/overview/overview.html>.

History of Quality - The Early 20th Century - ASQ. (2016). *Asq.org*. Acedido Março 1, 2016 em <http://asq.org/learn-about-quality/history-of-quality/overview/20th-century.html>.

Hoyer, B. & Hoyer, R. (2001). *What is Quality* (1º ed., pp. 53-61). Vancouver: Quality progress. Acedido Março 1, 2016, em <http://asq.org/data/subscriptions/qp/2001/0701/qp0701hoyer.pdf>.

Subramaniam, S.K., Husin, S.H., Yusop, Y. & Hamidon A.H. (2009). *Machine efficiency and man power utilization on production lines*. Bergquist Proceedings of the 8th WSEAS Int. Conf. em Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications, U.K.

IPQ. (2005). Norma Portuguesa EN ISO 9000:2005 - Sistemas de Gestão da Qualidade, Fundamentos e Vocabulário. Instituto Português da Qualidade. Caparica, Portugal.

IPQ. (2012). Vocabulário Internacional de Metrologia- conceitos Fundamentais e Gerais e Termos Associados 1ª edição Luso – Brasileira. Acedido Junho 21, 2017, em http://www.ipq.pt/backfiles/VIM_IPQ_INMETRO_2012.pdf.

Juran, J. & Godfrey, A. (1998). *Juran's Quality Handbook (5th Edition)*. New York, USA: McGraw-Hill Professional Publishing.

- Juran, J., & Gryna, F. (1991). *Controle da qualidade*. São Paulo (SP): Makron.
- Kwak, Young & Anbari, Frank. (2006). Benefits, obstacles, and future of Six Sigma approach. *Technovation*. 26. 708-715.
- Laureani, A., Antony, J., & Douglas, A. (2010). *Lean Six Sigma in a Call Centre: a case study*. Emerald Group Publishing Limited.
- Linderman, K. 2003. «Six Sigma: a goal-theoretic perspective». *Journal of Operations Management* 21(2):193-203. Acedido Agosto 6, 2011 em https://www.researchgate.net/publication/222412368_Six_Sigma_A_goal-theoretic_perspective
- Menezes, F. (2013). MSA - Análise dos Sistemas de Medição. Acedido Dezembro 17, 2016, em http://www.abdi.com.br/Acao%20Documento%20Legislacao/Apostila%20MSA_PORTUGU%C3%8AS.pdf.
- Monden, Y. (1998). *Toyota production system*. Norcross, Ga.: Engineering & Management Press.
- Montgomery, D. (2009). *Introduction to statistical quality control*. 6th ed. Hoboken: Wiley.
- Montgomery, D. C., & Woodall, W. H. (2008). An overview of six sigma. *International Statistical Review*, 76(3), 329-346. Acedido Dezembro 17, 2016, em <http://dx.doi.org/10.1111/j.1751-5823.2008.00061.x>.
- Pirsing. (1974). *Zen and the Art of Motorcycle Maintenance: An Inquiry into Values*. Acedido Março 1, 2016, 82. em <http://www.arvindguptatoys.com/arvindgupta/zen-motorcycle.pdf>.
- Portal Action. (2017). *Portalaction.com.br*. Acedido Janeiro 4, 2017, em <http://www.portalaction.com.br/analise-dos-sistemas-de-medicao/23-tendencia-e-linearidade>
- Rainho Mónica. (2016). ATEC – MSA: Análise do Sistema de Medição.
- Ross, J. (1999). *Total quality management*. Boca Raton, Fla.: St. Lucie Press.
- Rumane, A. (2011). *Quality management in construction projects*. Boca Raton, FL: CRC Press, p. 2.
- Subramaniam, S.K., Husin, S.H., Yusop, Y. & Hamidon A.H. 2009. *Machine efficiency and man power utilization on production lines*. Proceedings of the 8th WSEAS Int. Conf. on Electronics, Hardware, Wireless and Optical Communications, U.K., pp. 70-75.
- Werkema, C. (2013) *Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas*. Rio de Janeiro: Elsevier.

6. Anexos

Nesta secção encontram-se vários materiais de suporte utilizados durante este projeto.

ANEXO A - Exemplo de uma folha de RPC

BOSCH

Registo de Plano(s) de Controlo

PC (s): _____

Secção: _____

Referência/Característica ou Passo teste/produção: _____

Posto (s): _____

Célula: _____

CONTROLO DIMENSIONAL E (OU) VISUAL

DATA	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__	__/__/__
HORA	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Linha Nº	Características	Registo Nº									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
Nº Colaborador											
Rubrica											

Legenda	✓ - Cota dentro limites	X - Cota fora limites	NA - Cota não aplicada
----------------	-------------------------	-----------------------	------------------------

Nota: Apontar o valor das cotas que forem mensuráveis.

Linha Nº	Registo Nº	Desvio	Ações realizadas	Validação (Nº Colaborador e Rubrica)

ANEXO B – Workshop 2




Conceito Calibres das Serpentinhas

→ S842/S843



Os suspeitos do costume...

Conceitos Atuais

Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
		



Tempo de Ciclo - Colaboradores atuais

Calibre		T/C
Tipo 1		21.37
Tipo 2		45.5
Tipo 3	3.1	56.15
	3.2	46.08


BOSCH

Tempo de Ciclo – “Novo colaborador”

Calibre		T/C P1	T/C P2	T/C P3
Tipo 1		18.9	19	23.4
Tipo 2		48.0	46.5	34.4
Tipo 3	3.1	60.0	53.3	55.5
	3.2	58.3	53.00	64,2


BOSCH

Tempo de Ciclo

Calibre		T/C P1	T/C P2	T/C P3	T/C Operador
Tipo 1		18.9	19	23.4	21.37
Tipo 2		48.0	46.5	34.4	45.5
Tipo 3	3.1	60.0	53.3	55.5	56.2
	3.2	58.3	53.00	64,2	46.08


BOSCH

Tipo 1

Vantagens

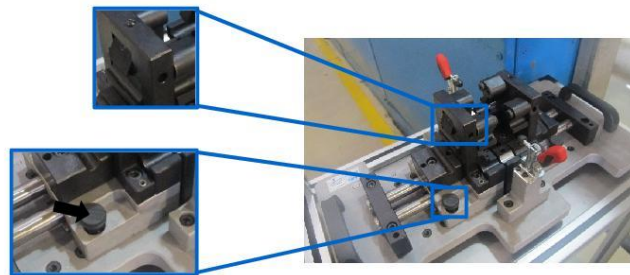
- Fácil encaixe
- Controla todos os troços de uma só vez
- Ao fim de algumas utilizações não apresenta qualquer dificuldade

Desvantagens

- Indexadores
- Batente de controlo devia ser fixo


BOSCH

Melhorias propostas – Tipo 1



Tipo 2

Vantagens

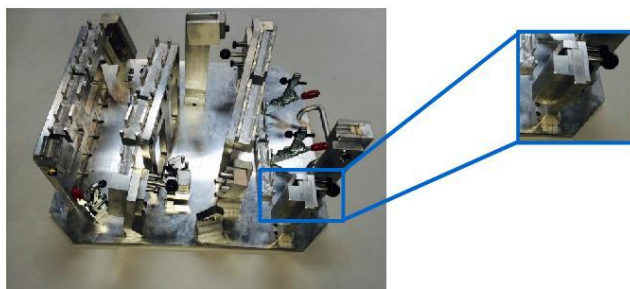
- Movimento único para encaixar a serpentina
- Controla todos os troços de uma só vez

Desvantagens

- Os P/NP são difíceis de usar
- A serpentina de água quente é difícil encaixar
- Encaixe difícil
- Construção pouco *user friendly*



Melhorias propostas – Tipo 2



BOSCH

Tipo 3

Vantagens

- Geometria simples

Desvantagens

- Muitos calibres para controlar uma serpentina
- Muitos movimentos
- Mesmo com as instruções visuais encontrar a posição de encaixe correta é difícil
- Necessidade de sair da mesa de trabalho



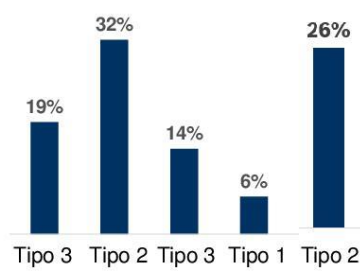
BOSCH

Melhorias propostas – Tipo 3

0



Vamos lá a números - % Incidência no Cliente



E o conceito a adotar é...

Tipo 1	
Tipo 2	
Tipo 3	

Anexo C – Workshop 3

Proposta de alteração do posto de Controlo Forno 3 e 5

→ Meios e Posto de Controlo

Objetivos

- Redução do tempo a controlar
- Aumentar a autonomia dos colaboradores
- Eliminar a necessidade de registo de medições nas folhas de registo (passar a um OK/NOK)
- Eliminar a necessidade do uso de equipamentos de medição (paquímetro, graminho, etc..)
- Diminuir o tempo de deslocação do operador

Meios Atuais



Thermotechnology
Internat. 14036 31 (01/01/2016) © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



Características Controladas com auxílio de meios de controlo

Característica
Distância da face do inserto / casquilho da serpentina AQ à face da CC
Comprimento e largura da saia
Altura da CC
Largura do bloco de lamelas
Comprimento medido pelo exterior das chapas
Largura do cotovelo após deformação
Largura do fusível após deformação
Altura do tubo extensivo
Diâmetro do abocardado

Thermotechnology
Internat. 14036 31 (01/01/2016) © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



Pontos de melhoria

- Tempo
- Movimentação
- Layout
- Meios de controlo vs Método
- Meios de Controlo vs Validade de "Controlo"?

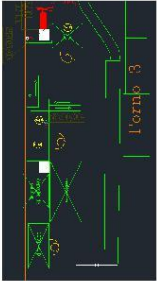

Propostas de melhoria

- Localização do posto de controlo F5




Propostas de melhoria

→ Localização do posto de controlo F3

Redução de Tempo

Thermotechnology
Internas (MCE) 31 (2015/2016) © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

 **BOSCH**

Propostas de melhoria

→ Trocar micrómetro por P/NP





Thermotechnology
Internas (MCE) 31 (2015/2016) © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

 **BOSCH**

Pontos de melhoria 1

→ Trocar paquímetro/graminho por coluna vertical/Poka-Yoke

9

Thermotechnology
Internat. (MCE) 31 (2015) 2016 / © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Pontos de melhoria 2

→ Trocar paquímetro/graminho por coluna vertical/Poka-Yoke

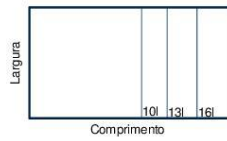
10

Thermotechnology
Internat. (MCE) 31 (2015) 2016 / © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

BOSCH

Pontos de melhoria

- Trocar paquímetro por "base graduada"



11

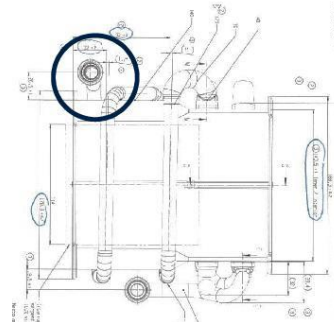
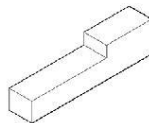
Thermotechnology

Internat. (MCE) 31 (2015) 2016. © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



Pontos de melhoria

- Validade do P/NP LO443DP1 E LO444DP1
- Largura do bloco de lamelas



12

Thermotechnology

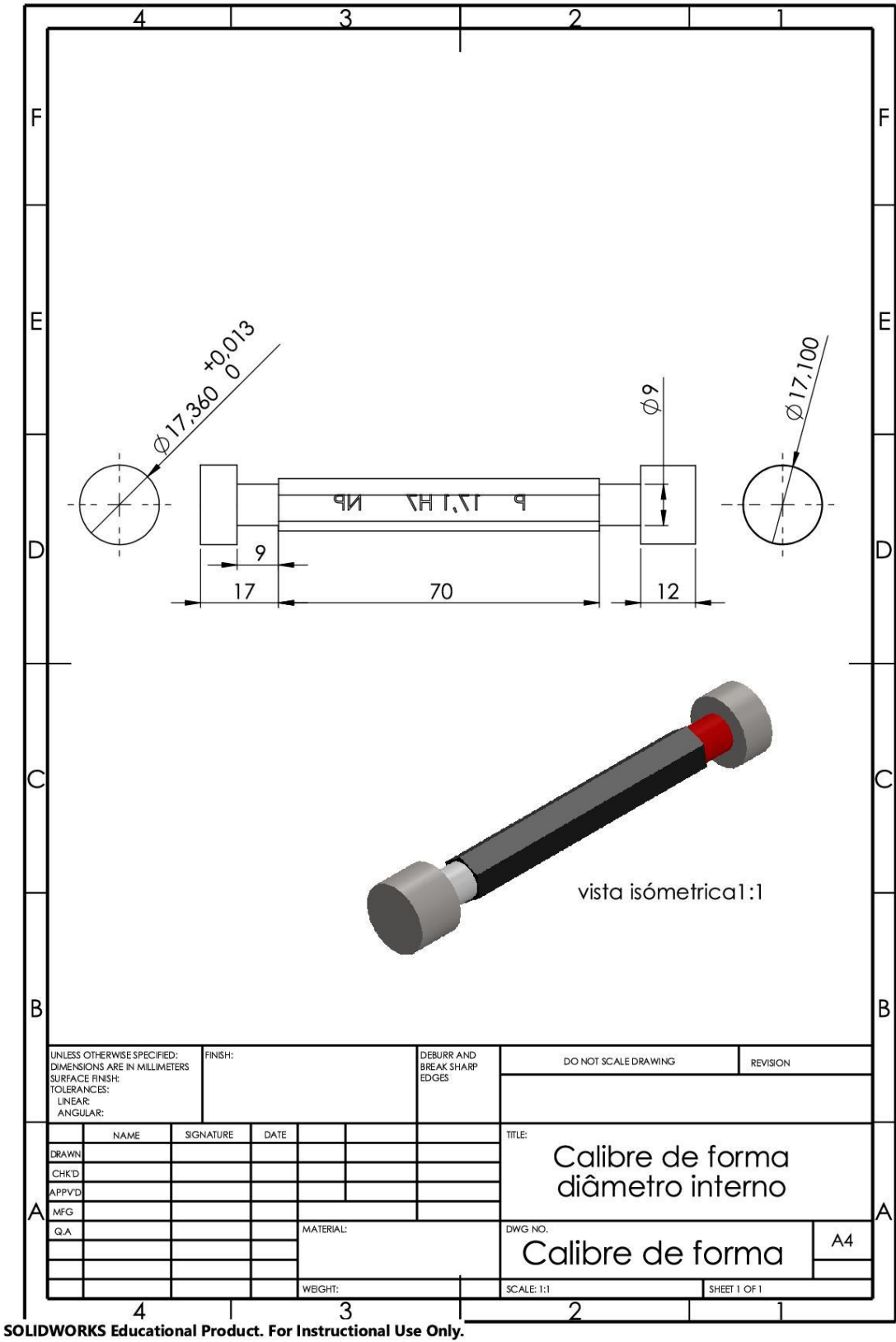
Internat. (MCE) 31 (2015) 2016. © Robert Bosch GmbH 2016. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



O que dizem os especialistas?



Anexo D



Anexo E – Modelo de Simulação e cenário alternativo

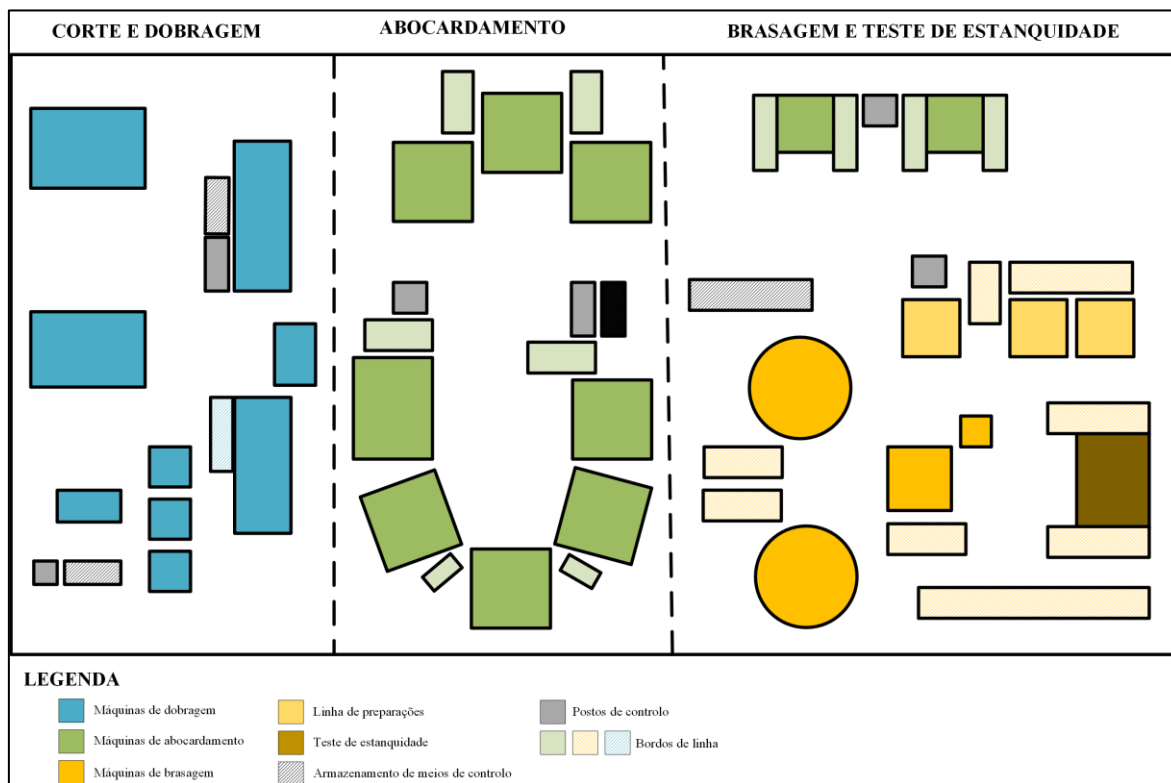
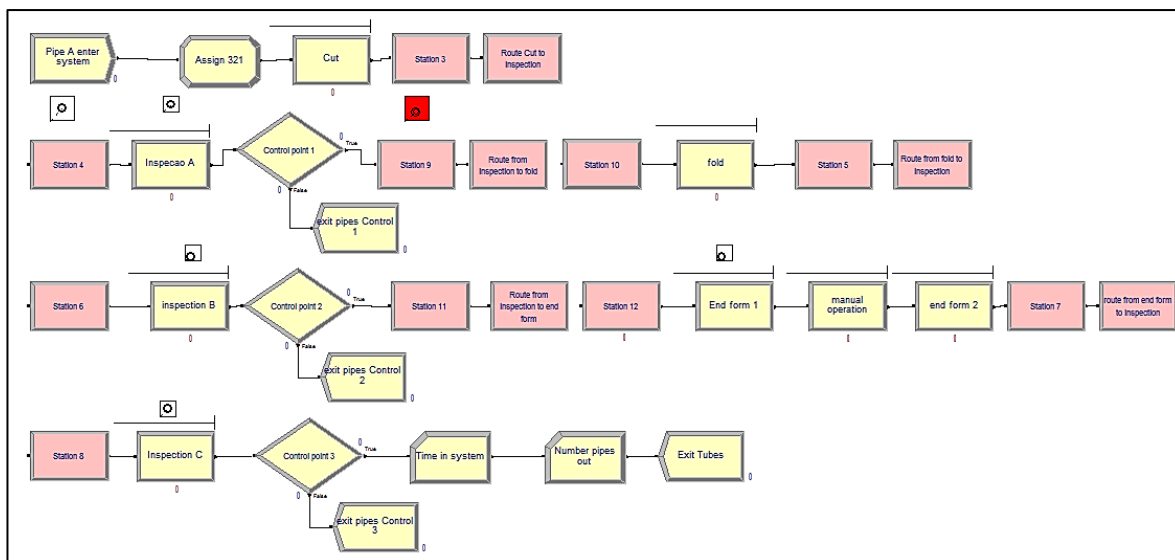


Table C 1: d_2^* Table

Values associated with the Distribution of the Average Range

		Subgroup Size (m)																		
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Number of Subgroups (g)	1	1.0	2.0	2.9	3.8	4.7	5.5	6.3	7.0	7.7	8.3	9.0	9.6	10.2	10.8	11.3	11.9	12.4	12.9	13.4
		1.41421	1.91155	2.21887	2.48124	2.67253	2.82981	2.96288	3.07794	3.17905	3.26909	3.35016	3.42378	3.49116	3.55333	3.61071	3.66422	3.71424	3.76118	3.80537
	2	1.9	3.8	5.7	7.5	9.2	10.8	12.3	13.8	15.1	16.5	17.8	19.0	20.2	21.3	22.4	23.5	24.5	25.5	26.5
		1.27931	1.80538	2.15069	2.40484	2.60438	2.76779	2.90562	3.02446	3.12869	3.22134	3.30463	3.38017	3.44922	3.51287	3.57156	3.62625	3.67734	3.72524	3.77032
	3	2.8	5.7	8.4	11.1	13.6	16.0	18.3	20.5	22.6	24.6	26.5	28.4	30.1	31.9	33.5	35.1	36.7	38.2	39.7
		1.23105	1.76858	2.12049	2.37883	2.58127	2.74681	2.88628	3.00643	3.11173	3.20826	3.28931	3.36550	3.43512	3.49927	3.55842	3.61351	3.66495	3.71319	3.75857
	4	3.7	7.5	11.2	14.7	18.1	21.3	24.4	27.3	30.1	32.7	35.3	37.7	40.1	42.4	44.6	46.7	48.8	50.8	52.8
		1.20621	1.74989	2.10522	2.36571	2.56964	2.73626	2.87656	2.99737	3.10321	3.19720	3.28163	3.35815	3.42805	3.49246	3.55183	3.60712	3.65875	3.70715	3.75268
	5	4.6	9.3	13.9	18.4	22.6	26.6	30.4	34.0	37.5	40.8	44.0	47.1	50.1	52.9	55.7	58.4	61.0	63.5	65.9
		1.19105	1.73857	2.09601	2.35781	2.56263	2.72991	2.87071	2.99192	3.09808	3.19235	3.27701	3.35372	3.42381	3.48836	3.54787	3.60328	3.65502	3.70352	3.74914
	6	5.5	11.1	16.7	22.0	27.0	31.8	36.4	40.8	45.0	49.0	52.8	56.5	60.1	63.5	66.8	70.0	73.1	76.1	79.1
		1.18083	1.73099	2.08985	2.35253	2.55795	2.72567	2.86680	2.98829	3.09467	3.18911	3.27392	3.35077	3.42097	3.48563	3.54522	3.60072	3.65253	3.70109	3.74678
	7	6.4	12.9	19.4	25.6	31.5	37.1	42.5	47.6	52.4	57.1	61.6	65.9	70.0	74.0	77.9	81.6	85.3	88.8	92.2
		1.17348	1.72555	2.08543	2.34875	2.55460	2.72263	2.86401	2.98568	3.09222	3.18679	3.27172	3.34866	3.41894	3.48368	3.54333	3.59888	3.65075	3.69936	3.74509
	8	7.2	14.8	22.1	29.2	36.0	42.4	48.5	54.3	59.9	65.2	70.3	75.2	80.0	84.6	89.0	93.3	97.4	101.4	105.3
		1.16794	1.72147	2.08212	2.34591	2.55208	2.72036	2.86192	2.98373	3.09039	3.18506	3.27006	3.34708	3.41742	3.48221	3.54192	3.59751	3.64941	3.69806	3.74382
	9	8.1	16.6	24.9	32.9	40.4	47.7	54.5	61.1	67.3	73.3	79.1	84.6	90.0	95.1	100.1	104.9	109.5	114.1	118.5
		1.16361	1.71828	2.07953	2.34370	2.55013	2.71858	2.86028	2.98221	3.08896	3.18370	3.26878	3.34585	3.41624	3.48107	3.54081	3.59644	3.64838	3.69705	3.74284
	10	9.0	18.4	27.6	36.5	44.9	52.9	60.6	67.8	74.8	81.5	87.9	94.0	99.9	105.6	111.2	116.5	121.7	126.7	131.6
		1.16014	1.71573	2.07746	2.34192	2.54856	2.71717	2.85898	2.98100	3.08781	3.18262	3.26775	3.34486	3.41529	3.48016	3.53993	3.59559	3.64755	3.69625	3.74205
11	9.9	20.2	30.4	40.1	49.4	58.2	66.6	74.6	82.2	89.6	96.6	103.4	109.9	116.2	122.3	128.1	133.8	139.4	144.7	
	1.15729	1.71363	2.07577	2.34048	2.54728	2.71600	2.85791	2.98000	3.08688	3.18174	3.26690	3.34406	3.41452	3.47941	3.53921	3.59489	3.64687	3.69558	3.74141	
12	10.7	22.0	33.1	43.7	53.8	63.5	72.6	81.3	89.7	97.7	105.4	112.7	119.9	126.7	133.3	139.8	146.0	152.0	157.9	
	1.15490	1.71189	2.07436	2.33927	2.54621	2.71504	2.85702	2.97917	3.08610	3.18100	3.26620	3.34339	3.41387	3.47879	3.53861	3.59430	3.64630	3.69503	3.74087	
13	11.6	23.8	35.8	47.3	58.3	68.7	78.6	88.1	97.1	105.8	114.1	122.1	129.8	137.3	144.4	151.4	158.1	164.7	171.0	
	1.15289	1.71041	2.07316	2.33824	2.54530	2.71422	2.85627	2.97847	3.08544	3.18037	3.26561	3.34282	3.41333	3.47826	3.53810	3.59381	3.64582	3.69457	3.74041	
14	12.5	25.7	38.6	51.0	62.8	74.0	84.7	94.9	104.6	113.9	122.9	131.5	139.8	147.8	155.5	163.0	170.3	177.3	184.2	
	1.15115	1.70914	2.07213	2.33737	2.54452	2.71351	2.85562	2.97787	3.08487	3.17984	3.26510	3.34233	3.41286	3.47781	3.53766	3.59339	3.64541	3.69417	3.74002	
15	13.4	27.5	41.3	54.6	67.2	79.3	90.7	101.6	112.1	122.1	131.7	140.9	149.8	158.3	166.6	174.6	182.4	190.0	197.3	
	1.14965	1.70804	2.07125	2.33661	2.54385	2.71290	2.85506	2.97735	3.08438	3.17938	3.26465	3.34191	3.41245	3.47742	3.53728	3.59302	3.64505	3.69382	3.73969	
16	14.3	29.3	44.1	58.2	71.7	84.5	96.7	108.4	119.5	130.2	140.4	150.2	159.7	168.9	177.7	186.3	194.6	202.6	210.4	
	1.14833	1.70708	2.07047	2.33594	2.54326	2.71237	2.85457	2.97689	3.08395	3.17897	3.26427	3.34154	3.41210	3.47707	3.53695	3.59270	3.64474	3.69351	3.73939	
17	15.1	31.1	46.8	61.8	76.2	89.8	102.8	115.1	127.0	138.3	149.2	159.6	169.7	179.4	188.8	197.9	206.7	215.2	223.6	
	1.14717	1.70623	2.06978	2.33535	2.54274	2.71190	2.85413	2.97649	3.08358	3.17861	3.26393	3.34121	3.41178	3.47677	3.53666	3.59242	3.64447	3.69325	3.73913	
18	16.0	32.9	49.5	65.5	80.6	95.1	108.8	121.9	134.4	146.4	157.9	169.0	179.7	190.0	199.9	209.5	218.8	227.9	236.7	
	1.14613	1.70547	2.06917	2.33483	2.54228	2.71148	2.85375	2.97613	3.08324	3.17829	3.26362	3.34092	3.41150	3.47650	3.53640	3.59216	3.64422	3.69301	3.73890	
19	16.9	34.7	52.3	69.1	85.1	100.3	114.8	128.7	141.9	154.5	166.7	178.4	189.6	200.5	211.0	221.1	231.0	240.5	249.8	
	1.14520	1.70480	2.06862	2.33436	2.54187	2.71111	2.85341	2.97581	3.08294	3.17801	3.26335	3.34066	3.41125	3.47626	3.53617	3.59194	3.64400	3.69280	3.73869	
20	17.8	36.5	55.0	72.7	89.6	105.6	120.9	135.4	149.3	162.7	175.5	187.8	199.6	211.0	222.1	232.8	243.1	253.2	263.0	
	1.14437	1.70419	2.06813	2.33394	2.54149	2.71077	2.85310	2.97552	3.08267	3.17775	3.26311	3.34042	3.41103	3.47605	3.53596	3.59174	3.64380	3.69260	3.73850	
d_2		1.12838	1.69257	2.05875	2.32593	2.53441	2.70436	2.8472	2.97003	3.07751	3.17287	3.26846	3.33598	3.40676	3.47193	3.53198	3.58788	3.64006	3.68896	3.735
cd		0.876	1.815	2.7378	3.623	4.4658	5.2673	6.0305	6.7582	7.4539	8.1207	8.7602	9.3751	9.9679	10.5396	11.0913	11.6259	12.144	12.6468	13.1362

Table entries: 1st line of each cell is the degrees of freedom (v) and the 2nd line of each cell is d_2^* ; d_2^* is the infinity value of d_2^* ; additional values of v can be built up from the constant difference, cd.

Note: The notation used in this table follows that of Acheson Duncan, *Quality Control and Industrial Statistics*, 5th edition, McGraw-Hill, 1986.

$$v \left(\frac{\bar{R}}{d_2^*} \right)^{\frac{1}{12}} / \sigma^2$$
 is distributed approximately as a χ^2 distribution with v degrees of freedom where \bar{R} is the average range of g subgroups of size m

Anexo G – Tabela Padrão para a Distribuição t

t Table

cum. prob	$t_{.50}$	$t_{.75}$	$t_{.80}$	$t_{.85}$	$t_{.90}$	$t_{.95}$	$t_{.975}$	$t_{.99}$	$t_{.995}$	$t_{.999}$	$t_{.9995}$
one-tail	0.50	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025	0.01	0.005	0.001	0.0005
two-tails	1.00	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.002	0.001
df											
1	0.000	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.71	31.82	63.66	318.31	636.62
2	0.000	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	0.000	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	0.000	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	0.000	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	0.000	0.718	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	0.000	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	0.000	0.706	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	0.000	0.703	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	0.000	0.700	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	0.000	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	0.000	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	0.000	0.694	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	0.000	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	0.000	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	0.000	0.690	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	0.000	0.689	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	0.000	0.688	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	0.000	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	0.000	0.687	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	0.000	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	0.000	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	0.000	0.685	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	0.000	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	0.000	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	0.000	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	0.000	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	0.000	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	0.000	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	0.000	0.683	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
40	0.000	0.681	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
60	0.000	0.679	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
80	0.000	0.678	0.846	1.043	1.292	1.664	1.990	2.374	2.639	3.195	3.416
100	0.000	0.677	0.845	1.042	1.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
1000	0.000	0.675	0.842	1.037	1.282	1.646	1.962	2.330	2.581	3.098	3.300
Z	0.000	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291
	0%	50%	60%	70%	80%	90%	95%	98%	99%	99.8%	99.9%
	Confidence Level										

Anexo G – Folha de recolha de dados MSA por atributo, Característica 1.3 – Tubo A

Folha de recolha de dados - MSA por Atributo						
Número da peça Tubo A			Nome do IM Calibre de Forma A		Appraiser A Énio	
Part Name Tubo A			Número do IM N/A		Appraiser B Rosa	
Característica Diâmetro Externo	Especificação 17 mm 0 -0,2		Gage Type OK/NOK		Appraiser C João	
			Ensaio		Avaliadores	
			3		50	
					3	
					06/02/2016	
Medição	Avaliadores	Ensaio	Items Testados	Resultado	Padrão	
1	Énio	1	Item 41	OK	OK	
2	Énio	1	Item 2	NOK	NOK	
3	Énio	1	Item 17	OK	OK	
4	Énio	1	Item 21	OK	OK	
5	Énio	1	Item 38	OK	OK	
6	Énio	1	Item 18	OK	OK	
7	Énio	1	Item 42	OK	OK	
8	Énio	1	Item 27	OK	OK	
9	Énio	1	Item 3	NOK	NOK	
10	Énio	1	Item 50	OK	OK	
11	Énio	1	Item 47	OK	OK	
12	Énio	1	Item 15	OK	OK	
13	Énio	1	Item 16	NOK	NOK	
14	Énio	1	Item 24	OK	OK	
15	Énio	1	Item 1	NOK	NOK	
16	Énio	1	Item 20	OK	OK	
17	Énio	1	Item 5	NOK	NOK	
18	Énio	1	Item 44	OK	OK	
19	Énio	1	Item 26	NOK	NOK	
20	Énio	1	Item 34	OK	OK	
21	Énio	1	Item 22	OK	OK	
22	Énio	1	Item 25	OK	OK	
23	Énio	1	Item 35	NOK	NOK	
24	Énio	1	Item 23	OK	OK	
25	Énio	1	Item 12	OK	OK	
26	Énio	1	Item 39	NOK	NOK	
27	Énio	1	Item 14	NOK	NOK	
28	Énio	1	Item 49	OK	OK	
29	Énio	1	Item 30	OK	OK	
30	Énio	1	Item 36	OK	OK	
31	Énio	1	Item 48	OK	OK	
32	Énio	1	Item 13	OK	OK	
33	Énio	1	Item 31	OK	OK	
34	Énio	1	Item 7	NOK	NOK	
35	Énio	1	Item 37	NOK	NOK	
36	Énio	1	Item 9	NOK	NOK	
37	Énio	1	Item 33	OK	OK	
38	Énio	1	Item 6	NOK	NOK	
39	Énio	1	Item 19	OK	OK	
40	Énio	1	Item 10	NOK	NOK	
41	Énio	1	Item 32	OK	OK	
42	Énio	1	Item 29	OK	OK	
43	Énio	1	Item 11	OK	OK	
44	Énio	1	Item 45	OK	OK	
45	Énio	1	Item 28	OK	OK	
46	Énio	1	Item 43	OK	OK	
47	Énio	1	Item 40	OK	OK	
48	Énio	1	Item 4	NOK	NOK	
49	Énio	1	Item 46	OK	OK	
50	Énio	1	Item 8	NOK	NOK	
51	Rosa	1	Item 44	OK	OK	
52	Rosa	1	Item 29	OK	OK	
53	Rosa	1	Item 45	OK	OK	
54	Rosa	1	Item 9	NOK	NOK	
55	Rosa	1	Item 12	NOK	OK	
56	Rosa	1	Item 18	NOK	OK	
57	Rosa	1	Item 2	NOK	NOK	
58	Rosa	1	Item 10	NOK	NOK	

59	Rosa	1	Item 30	OK	OK
60	Rosa	1	Item 46	OK	OK
61	Rosa	1	Item 16	NOK	NOK
62	Rosa	1	Item 26	NOK	NOK
63	Rosa	1	Item 41	OK	OK
64	Rosa	1	Item 15	OK	OK
65	Rosa	1	Item 36	OK	OK
66	Rosa	1	Item 38	OK	OK
67	Rosa	1	Item 39	NOK	NOK
68	Rosa	1	Item 14	NOK	NOK
69	Rosa	1	Item 5	NOK	NOK
70	Rosa	1	Item 28	OK	OK
71	Rosa	1	Item 7	NOK	NOK
72	Rosa	1	Item 21	OK	OK
73	Rosa	1	Item 42	OK	OK
74	Rosa	1	Item 22	OK	OK
75	Rosa	1	Item 49	OK	OK
76	Rosa	1	Item 20	OK	OK
77	Rosa	1	Item 19	OK	OK
78	Rosa	1	Item 17	OK	OK
79	Rosa	1	Item 31	OK	OK
80	Rosa	1	Item 23	OK	OK
81	Rosa	1	Item 3	NOK	NOK
82	Rosa	1	Item 32	OK	OK
83	Rosa	1	Item 40	NOK	OK
84	Rosa	1	Item 8	NOK	NOK
85	Rosa	1	Item 50	OK	OK
86	Rosa	1	Item 27	OK	OK
87	Rosa	1	Item 4	NOK	NOK
88	Rosa	1	Item 47	OK	OK
89	Rosa	1	Item 43	OK	OK
90	Rosa	1	Item 24	OK	OK
91	Rosa	1	Item 25	OK	OK
92	Rosa	1	Item 35	NOK	NOK
93	Rosa	1	Item 37	NOK	NOK
94	Rosa	1	Item 6	NOK	NOK
95	Rosa	1	Item 1	NOK	NOK
96	Rosa	1	Item 13	OK	OK
97	Rosa	1	Item 34	OK	OK
98	Rosa	1	Item 11	OK	OK
99	Rosa	1	Item 48	OK	OK
100	Rosa	1	Item 33	OK	OK
101	João	1	Item 38	OK	OK
102	João	1	Item 39	NOK	NOK
103	João	1	Item 23	OK	OK
104	João	1	Item 12	OK	OK
105	João	1	Item 6	NOK	NOK
106	João	1	Item 28	OK	OK
107	João	1	Item 25	OK	OK
108	João	1	Item 42	OK	OK
109	João	1	Item 22	OK	OK
110	João	1	Item 9	NOK	NOK
111	João	1	Item 1	NOK	NOK
112	João	1	Item 7	NOK	NOK
113	João	1	Item 4	NOK	NOK
114	João	1	Item 40	OK	OK
115	João	1	Item 43	OK	OK
116	João	1	Item 46	OK	OK
117	João	1	Item 8	NOK	NOK
118	João	1	Item 17	OK	OK
119	João	1	Item 14	NOK	NOK
120	João	1	Item 3	NOK	NOK
121	João	1	Item 47	OK	OK
122	João	1	Item 36	OK	OK
123	João	1	Item 21	OK	OK
124	João	1	Item 15	OK	OK
125	João	1	Item 16	NOK	NOK
126	João	1	Item 32	OK	OK
127	João	1	Item 27	OK	OK

128	João	1	Item 33	OK	OK
129	João	1	Item 19	OK	OK
130	João	1	Item 49	OK	OK
131	João	1	Item 34	OK	OK
132	João	1	Item 35	NOK	NOK
133	João	1	Item 11	OK	OK
134	João	1	Item 24	OK	OK
135	João	1	Item 45	OK	OK
136	João	1	Item 44	OK	OK
137	João	1	Item 29	OK	OK
138	João	1	Item 31	OK	OK
139	João	1	Item 26	NOK	NOK
140	João	1	Item 48	OK	OK
141	João	1	Item 20	OK	OK
142	João	1	Item 41	OK	OK
143	João	1	Item 37	NOK	NOK
144	João	1	Item 18	OK	OK
145	João	1	Item 10	NOK	NOK
146	João	1	Item 13	OK	OK
147	João	1	Item 2	NOK	NOK
148	João	1	Item 5	NOK	NOK
149	João	1	Item 50	OK	OK
150	João	1	Item 30	OK	OK
151	Énio	2	Item 14	NOK	NOK
152	Énio	2	Item 15	OK	OK
153	Énio	2	Item 34	OK	OK
154	Énio	2	Item 28	OK	OK
155	Énio	2	Item 30	OK	OK
156	Énio	2	Item 48	OK	OK
157	Énio	2	Item 7	NOK	NOK
158	Énio	2	Item 16	NOK	NOK
159	Énio	2	Item 37	NOK	NOK
160	Énio	2	Item 29	OK	OK
161	Énio	2	Item 43	OK	OK
162	Énio	2	Item 20	OK	OK
163	Énio	2	Item 17	OK	OK
164	Énio	2	Item 11	OK	OK
165	Énio	2	Item 50	OK	OK
166	Énio	2	Item 31	OK	OK
167	Énio	2	Item 47	OK	OK
168	Énio	2	Item 36	OK	OK
169	Énio	2	Item 45	OK	OK
170	Énio	2	Item 42	OK	OK
171	Énio	2	Item 21	OK	OK
172	Énio	2	Item 5	NOK	NOK
173	Énio	2	Item 8	NOK	NOK
174	Énio	2	Item 10	NOK	NOK
175	Énio	2	Item 2	NOK	NOK
176	Énio	2	Item 26	NOK	NOK
177	Énio	2	Item 19	OK	OK
178	Énio	2	Item 24	OK	OK
179	Énio	2	Item 27	OK	OK
180	Énio	2	Item 44	OK	OK
181	Énio	2	Item 35	NOK	NOK
182	Énio	2	Item 32	OK	OK
183	Énio	2	Item 18	OK	OK
184	Énio	2	Item 25	OK	OK
185	Énio	2	Item 49	OK	OK
186	Énio	2	Item 39	NOK	NOK
187	Énio	2	Item 9	NOK	NOK
188	Énio	2	Item 33	OK	OK
189	Énio	2	Item 6	NOK	NOK
190	Énio	2	Item 40	OK	OK
191	Énio	2	Item 1	NOK	NOK
192	Énio	2	Item 4	NOK	NOK
193	Énio	2	Item 22	OK	OK
194	Énio	2	Item 46	OK	OK
195	Énio	2	Item 41	OK	OK
196	Énio	2	Item 12	OK	OK

197	Énio	2	Item 3	NOK	NOK
198	Énio	2	Item 13	OK	OK
199	Énio	2	Item 38	OK	OK
200	Énio	2	Item 23	OK	OK
201	Rosa	2	Item 49	OK	OK
202	Rosa	2	Item 11	OK	OK
203	Rosa	2	Item 6	NOK	NOK
204	Rosa	2	Item 29	OK	OK
205	Rosa	2	Item 8	NOK	NOK
206	Rosa	2	Item 31	OK	OK
207	Rosa	2	Item 1	NOK	NOK
208	Rosa	2	Item 21	OK	OK
209	Rosa	2	Item 5	NOK	NOK
210	Rosa	2	Item 32	OK	OK
211	Rosa	2	Item 9	NOK	NOK
212	Rosa	2	Item 16	NOK	NOK
213	Rosa	2	Item 3	NOK	NOK
214	Rosa	2	Item 33	OK	OK
215	Rosa	2	Item 28	OK	OK
216	Rosa	2	Item 23	OK	OK
217	Rosa	2	Item 7	NOK	NOK
218	Rosa	2	Item 24	OK	OK
219	Rosa	2	Item 25	OK	OK
220	Rosa	2	Item 30	OK	OK
221	Rosa	2	Item 13	OK	OK
222	Rosa	2	Item 4	NOK	NOK
223	Rosa	2	Item 26	NOK	NOK
224	Rosa	2	Item 18	OK	OK
225	Rosa	2	Item 27	OK	OK
226	Rosa	2	Item 40	OK	OK
227	Rosa	2	Item 36	OK	OK
228	Rosa	2	Item 19	OK	OK
229	Rosa	2	Item 15	OK	OK
230	Rosa	2	Item 20	OK	OK
231	Rosa	2	Item 12	OK	OK
232	Rosa	2	Item 38	OK	OK
233	Rosa	2	Item 47	OK	OK
234	Rosa	2	Item 37	NOK	NOK
235	Rosa	2	Item 14	NOK	NOK
236	Rosa	2	Item 43	OK	OK
237	Rosa	2	Item 35	NOK	NOK
238	Rosa	2	Item 48	OK	OK
239	Rosa	2	Item 17	OK	OK
240	Rosa	2	Item 22	OK	OK
241	Rosa	2	Item 10	NOK	NOK
242	Rosa	2	Item 42	OK	OK
243	Rosa	2	Item 46	OK	OK
244	Rosa	2	Item 34	OK	OK
245	Rosa	2	Item 41	OK	OK
246	Rosa	2	Item 39	NOK	NOK
247	Rosa	2	Item 45	OK	OK
248	Rosa	2	Item 44	OK	OK
249	Rosa	2	Item 50	OK	OK
250	Rosa	2	Item 2	NOK	NOK
251	João	2	Item 12	OK	OK
252	João	2	Item 9	NOK	NOK
253	João	2	Item 49	OK	OK
254	João	2	Item 24	OK	OK
255	João	2	Item 13	OK	OK
256	João	2	Item 50	OK	OK
257	João	2	Item 28	OK	OK
258	João	2	Item 25	OK	OK
259	João	2	Item 46	OK	OK
260	João	2	Item 42	OK	OK
261	João	2	Item 8	NOK	NOK
262	João	2	Item 33	OK	OK
263	João	2	Item 47	OK	OK
264	João	2	Item 39	NOK	NOK
265	João	2	Item 15	OK	OK

266	João	2	Item 29	OK	OK
267	João	2	Item 22	OK	OK
268	João	2	Item 26	NOK	NOK
269	João	2	Item 5	NOK	NOK
270	João	2	Item 6	NOK	NOK
271	João	2	Item 44	OK	OK
272	João	2	Item 3	NOK	NOK
273	João	2	Item 14	NOK	NOK
274	João	2	Item 10	NOK	NOK
275	João	2	Item 20	OK	OK
276	João	2	Item 19	OK	OK
277	João	2	Item 11	OK	OK
278	João	2	Item 43	OK	OK
279	João	2	Item 37	NOK	NOK
280	João	2	Item 38	OK	OK
281	João	2	Item 16	NOK	NOK
282	João	2	Item 27	OK	OK
283	João	2	Item 45	OK	OK
284	João	2	Item 41	OK	OK
285	João	2	Item 23	OK	OK
286	João	2	Item 35	NOK	NOK
287	João	2	Item 40	OK	OK
288	João	2	Item 34	OK	OK
289	João	2	Item 18	OK	OK
290	João	2	Item 1	NOK	NOK
291	João	2	Item 4	NOK	NOK
292	João	2	Item 36	OK	OK
293	João	2	Item 32	OK	OK
294	João	2	Item 7	NOK	NOK
295	João	2	Item 30	OK	OK
296	João	2	Item 48	OK	OK
297	João	2	Item 21	OK	OK
298	João	2	Item 2	NOK	NOK
299	João	2	Item 31	OK	OK
300	João	2	Item 17	OK	OK
301	Énio	3	Item 20	OK	OK
302	Énio	3	Item 44	OK	OK
303	Énio	3	Item 40	OK	OK
304	Énio	3	Item 24	OK	OK
305	Énio	3	Item 5	NOK	NOK
306	Énio	3	Item 10	NOK	NOK
307	Énio	3	Item 33	OK	OK
308	Énio	3	Item 14	NOK	NOK
309	Énio	3	Item 19	OK	OK
310	Énio	3	Item 34	OK	OK
311	Énio	3	Item 21	OK	OK
312	Énio	3	Item 23	OK	OK
313	Énio	3	Item 29	OK	OK
314	Énio	3	Item 15	OK	OK
315	Énio	3	Item 2	NOK	NOK
316	Énio	3	Item 13	OK	OK
317	Énio	3	Item 12	OK	OK
318	Énio	3	Item 16	NOK	NOK
319	Énio	3	Item 1	NOK	NOK
320	Énio	3	Item 38	OK	OK
321	Énio	3	Item 31	OK	OK
322	Énio	3	Item 48	OK	OK
323	Énio	3	Item 27	OK	OK
324	Énio	3	Item 4	NOK	NOK
325	Énio	3	Item 18	OK	OK
326	Énio	3	Item 36	OK	OK
327	Énio	3	Item 37	NOK	NOK
328	Énio	3	Item 42	OK	OK
329	Énio	3	Item 11	OK	OK
330	Énio	3	Item 8	NOK	NOK
331	Énio	3	Item 17	OK	OK
332	Énio	3	Item 35	NOK	NOK
333	Énio	3	Item 32	OK	OK
334	Énio	3	Item 9	NOK	NOK

335	Énio	3	Item 49	OK	OK
336	Énio	3	Item 45	OK	OK
337	Énio	3	Item 25	OK	OK
338	Énio	3	Item 41	OK	OK
339	Énio	3	Item 47	OK	OK
340	Énio	3	Item 28	OK	OK
341	Énio	3	Item 3	NOK	NOK
342	Énio	3	Item 39	NOK	NOK
343	Énio	3	Item 6	NOK	NOK
344	Énio	3	Item 50	OK	OK
345	Énio	3	Item 43	OK	OK
346	Énio	3	Item 26	NOK	NOK
347	Énio	3	Item 30	OK	OK
348	Énio	3	Item 46	OK	OK
349	Énio	3	Item 22	OK	OK
350	Énio	3	Item 7	NOK	NOK
351	Rosa	3	Item 50	OK	OK
352	Rosa	3	Item 40	OK	OK
353	Rosa	3	Item 31	OK	OK
354	Rosa	3	Item 47	OK	OK
355	Rosa	3	Item 14	NOK	NOK
356	Rosa	3	Item 17	OK	OK
357	Rosa	3	Item 21	OK	OK
358	Rosa	3	Item 5	NOK	NOK
359	Rosa	3	Item 1	NOK	NOK
360	Rosa	3	Item 37	NOK	NOK
361	Rosa	3	Item 3	NOK	NOK
362	Rosa	3	Item 32	OK	OK
363	Rosa	3	Item 4	NOK	NOK
364	Rosa	3	Item 12	OK	OK
365	Rosa	3	Item 44	OK	OK
366	Rosa	3	Item 35	NOK	NOK
367	Rosa	3	Item 45	OK	OK
368	Rosa	3	Item 26	NOK	NOK
369	Rosa	3	Item 28	OK	OK
370	Rosa	3	Item 38	OK	OK
371	Rosa	3	Item 7	NOK	NOK
372	Rosa	3	Item 27	OK	OK
373	Rosa	3	Item 16	NOK	NOK
374	Rosa	3	Item 19	OK	OK
375	Rosa	3	Item 18	OK	OK
376	Rosa	3	Item 41	OK	OK
377	Rosa	3	Item 22	OK	OK
378	Rosa	3	Item 30	NOK	OK
379	Rosa	3	Item 13	OK	OK
380	Rosa	3	Item 11	OK	OK
381	Rosa	3	Item 23	OK	OK
382	Rosa	3	Item 6	NOK	NOK
383	Rosa	3	Item 29	OK	OK
384	Rosa	3	Item 48	OK	OK
385	Rosa	3	Item 34	OK	OK
386	Rosa	3	Item 43	OK	OK
387	Rosa	3	Item 33	OK	OK
388	Rosa	3	Item 42	OK	OK
389	Rosa	3	Item 24	OK	OK
390	Rosa	3	Item 2	NOK	NOK
391	Rosa	3	Item 49	OK	OK
392	Rosa	3	Item 46	OK	OK
393	Rosa	3	Item 10	NOK	NOK
394	Rosa	3	Item 8	NOK	NOK
395	Rosa	3	Item 39	NOK	NOK
396	Rosa	3	Item 20	OK	OK
397	Rosa	3	Item 25	OK	OK
398	Rosa	3	Item 36	OK	OK
399	Rosa	3	Item 9	NOK	NOK
400	Rosa	3	Item 15	NOK	OK
401	João	3	Item 36	OK	OK
402	João	3	Item 46	OK	OK
403	João	3	Item 14	NOK	NOK

404	João	3	Item 11	OK	OK
405	João	3	Item 22	OK	OK
406	João	3	Item 42	OK	OK
407	João	3	Item 28	OK	OK
408	João	3	Item 10	NOK	NOK
409	João	3	Item 21	OK	OK
410	João	3	Item 33	OK	OK
411	João	3	Item 41	OK	OK
412	João	3	Item 8	NOK	NOK
413	João	3	Item 35	NOK	NOK
414	João	3	Item 31	OK	OK
415	João	3	Item 34	OK	OK
416	João	3	Item 5	NOK	NOK
417	João	3	Item 24	OK	OK
418	João	3	Item 1	NOK	NOK
419	João	3	Item 12	OK	OK
420	João	3	Item 40	OK	OK
421	João	3	Item 49	OK	OK
422	João	3	Item 32	OK	OK
423	João	3	Item 27	OK	OK
424	João	3	Item 4	NOK	NOK
425	João	3	Item 45	OK	OK
426	João	3	Item 19	OK	OK
427	João	3	Item 29	OK	OK
428	João	3	Item 43	OK	OK
429	João	3	Item 20	OK	OK
430	João	3	Item 15	OK	OK
431	João	3	Item 26	NOK	NOK
432	João	3	Item 7	NOK	NOK
433	João	3	Item 48	OK	OK
434	João	3	Item 6	NOK	NOK
435	João	3	Item 17	OK	OK
436	João	3	Item 9	NOK	NOK
437	João	3	Item 18	OK	OK
438	João	3	Item 44	OK	OK
439	João	3	Item 37	NOK	NOK
440	João	3	Item 23	OK	OK
441	João	3	Item 50	OK	OK
442	João	3	Item 39	NOK	NOK
443	João	3	Item 13	OK	OK
444	João	3	Item 30	OK	OK
445	João	3	Item 38	OK	OK
446	João	3	Item 25	OK	OK
447	João	3	Item 2	NOK	NOK
448	João	3	Item 47	OK	OK
449	João	3	Item 16	NOK	NOK
450	João	3	Item 3	NOK	NOK